



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59 \text{ MPa}$) UTILIZANDO EL
CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

ESTRUCTURAS

AUTOR: JUAN CARLOS MOYANO VALENZUELA

TUTOR: ING. ELIECER WASHINGTON BENAVIDES ORBE

QUITO, ECUADOR

2014

DEDICATORIA

A mi papi Dios por darme la vida y por otorgarme el coraje así como la sabiduría para seguir adelante a pesar de todas las adversidades que se han presentado a lo largo de mi vida, y de esta investigación.

A mis padres y en especial a mi madre Aida Piedad, la mujer que me ha enseñado a vivir, a ser un hombre de bien, quién ha sido mi pilar desde cuando niño, por ser la persona que ha estado conmigo siempre, en las buenas y en las malas, y por quién cada día me levanto con fortaleza para seguir alcanzando mis metas.

A mis hermanos, en especial a mi hermano Oscar, mi compañero y amigo fiel de toda la vida, por ser como un padre para mí, con quién pudimos compartir tantos momentos juntos, lejos de nuestro hogar, esforzándonos día tras día por aprender esta hermosa profesión, digna de guerreros.

A mi novia Mishel, por ser la persona quién me motivó a empezar este trabajo, por ser la luz que ilumina cada día de mi vida, quién me llena de sueños, esperanza y amor.

A mis grandes amigos y compañeros, Robert, María y Daniel con quienes compartimos durante el desarrollo de esta investigación tantas alegrías, preocupaciones, fotos y recuerdos que perdurarán en mí, para toda la vida, en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la insigne Universidad Central del Ecuador, lo logramos muchachos.

Juank

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos, amigos, y vecinas, que estuvieron apoyándome a cada momento para finalizar este trabajo.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, de manera especial a mi tutor Ing. Washington Benavides así como a los miembros del tribunal de tesis por la colaboración brindada en el desarrollo de esta investigación, por las horas de enseñanza y por el valioso ejemplo de humildad y responsabilidad en la vida.

Al lugar donde me formaron en valores y en conocimientos, la Universidad Central del Ecuador, gracias por la excelencia, y la majestuosidad de su educación.

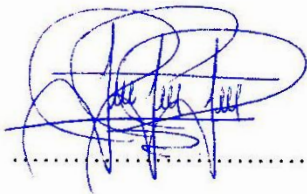
Juank

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, MOYANO VALENZUELA JUAN CARLOS en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59 \text{ MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 18 de Febrero de 2014



.....

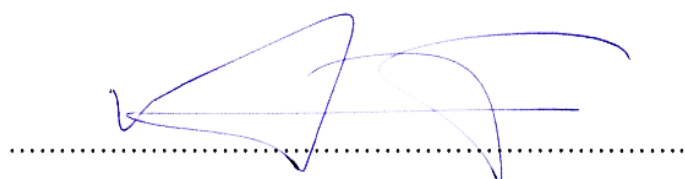
MOYANO VALENZUELA JUAN CARLOS

C.C. 1003563002

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor del estudio de Investigación: **HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59$ MPa), UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE**, presentado y desarrollado por el señor: **MOYANO VALENZUELA JUAN CARLOS**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero, que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 31 días del mes de enero del año 2014.



ING. ELICER WASHINGTON BENAVIDES ORBE

TUTOR.

Quito, 24 de enero del 2014

Señorita

Ingeniera Susana GUZMÁN RODRÍGUEZ,
DIRECTORA, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Presente

De mi consideración:

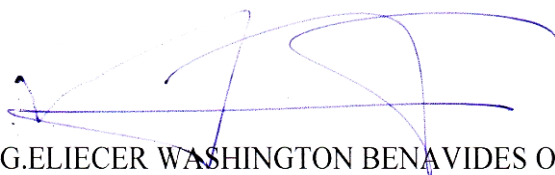
En atención al oficio No. FI-DCIC-2013-249 del 11 de abril del 2013, en mi condición de Tutor de la Tesis “HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE”, desarrollado por el señor egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, MOYANO VALENZUELA JUAN CARLOS, me permito poner en su conocimiento lo siguiente:

Que habiéndose concluido en su totalidad la investigación realizada a través de la tesis mencionada, debo poner en su conocimiento este particular, considerando que se han acogido en su totalidad, todas las sugerencias y cambios emanados por mi persona y además, las que plantearon los señores miembros del tribunal respectivo.

Con este antecedente, solicito a usted, muy comedidamente se digne dar el trámite pertinente, a fin de que el señor estudiante pueda proseguir con su proceso de graduación.

Por la atención que se digne dar a este particular, desde ya me anticipo en agradecerle.

Atentamente:



ING.ELIECER WASHINGTON BENAVIDES ORBE.

TUTOR.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECCIÓN

Oficio FI-DCIC-2014-140
Quito DM., 30 de enero de 2014

Ingenieros
MARCO AYABACA
ERNESTO PRO
PROFESORES, PLAN TRABAJO DE GRADUACIÓN
Presente

REF.: Calificación trabajo de Grado

Cordial saludo:

En cumplimiento a las disposiciones vigentes, remito a usted el formulario "RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN", previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, presentado por el señor:

MOYANO VALENZUELA JUAN CARLOS

que versa sobre: **"HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ Mpa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE"**, a fin de que en el plazo de **OCHO DIAS**, (contados desde la fecha de la entrega de la memoria), se sirvan entregar en Secretaría General de la Facultad, el formulario con la nota promedio.

Atentamente,

ING. SUSANA GUZMÁN R., MSc.
DIRECTORA, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Anexo: Formulario
SG/LB



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECCIÓN

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 14 Febrero del 2014

Señor: Juan Carlos Moyano Valenzuela

Tema: Hormigón de Alta Resistencia ($f_c = 59 \text{ MPa}$), utilizando el cemento armadura especial de la línea Lafarge

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	MARCO A. AYABACA C.	19	DIECINUEVE	
PROFESOR TITULAR	ERNESTO PRO	20	VEINTE	
PROMEDIO		19.5	DIECINUEVE CINCO	

Dra. Katherine Carrión Valdivieso
SECRETARIA ABOGADA



CONTENIDO

PP

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL	iv
CERTIFICACIÓN.....	v
CONTENIDO.....	ix
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE GRÁFICOS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 Historia y Evolución del Hormigón de Alta Resistencia	1
1.1.2 Importancia de la Investigación	10
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 ALCANCE	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1 LOS HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA, REQUISITOS	13
2.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN Y SUS CUALIDADES FÍSICO-MECÁNICAS	18
2.2.1 El Cemento	18
2.2.2 Los Agregados	23
2.2.3 El Agua	29

2.2.4 Aditivos	30
2.2.4.1 Aditivos Minerales	33
2.2.4.2 Aditivos Químicos	44
2.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN FRESCO.....	49
2.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	56
2.5 COMPORTAMIENTO ELÁSTICO E INELÁSTICO	66
2.6 DEFORMACIONES.....	68
CAPITULO III: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS	
PARA HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA.....	70
3.1 Selección de materiales	70
3.1.1 Ubicación, características de la zona y explotación de los agregados del sector Guayllabamba.	70
3.2 Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la mina de Guayllabamba.....	73
3.2.1 Ensayos de abrasión	73
3.2.2 Ensayos de colorimetría	77
3.2.3 Densidad real (peso específico)	81
3.2.4 Capacidad de absorción.....	81
3.2.5 Contenido de Humedad.....	90
3.2.6 Densidad aparente suelta y compactada	94
3.2.7 Granulometría.....	107
CAPITULO IV: EL CEMENTO.....	122
4.1 Propiedades Físicas y Mecánicas del Cemento Armaduro Especial de la línea Lafarge.	122
4.1.1 Densidad del Cemento.	123
4.1.2 Finura	127
4.1.3 Superficie Específica.....	130
4.1.4 Muestra Patrón.....	130
4.1.5 Consistencia Normal	131
4.1.6 Resistencia Cúbica de los morteros de cemento.	133
4.1.7 Tiempo de fraguado del cemento.....	140
4.1.8 Contenido de aire	143

CAPITULO V: DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA148

5.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL HORMIGÓN ($f'_c = 59 \text{ MPa}$) ..	148
5.2.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN LA ACI 318-08	148
5.3.	NORMATIVAS (EN CONCORDANCIA CON LOS COMITÉS ACI 211.4R-93 Y ACI 363.2R-98).....	153
5.4.	DISEÑO DE DOSIFICACIONES PARA MEZCLAS DE PRUEBA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA.	155
5.5.	MÉTODO DEL VOLUMEN ABSOLUTO	168
5.6.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA.....	168
5.7.	MEZCLAS DE PRUEBA	170
5.7.1	Alternativas de Mezclas	171
5.7.1.1	DATOS DE DISEÑO PARA LAS MEZCLAS:	173
5.7.1.2	MP1-HAR	174
5.7.1.3	MP2-HAR	181
5.7.1.4	MP3-HAR	188
5.7.1.5	MP4-HAR	195
5.7.1.6	MP5-HAR	202
5.7.1.7	MP6-HAR:	209
5.7.1.8	MP7-HAR	210
5.7.1.9	MP8-HAR	218
5.7.1.10	MP9-HAR	219
5.7.1.11	MP10-HAR:	220
5.7.1.12	MP11-HAR	221
5.7.1.13	MP10-A1-HAR	223
5.7.1.14	MP10-A2-HAR	223
5.7.1.15	MP10-A3-HAR	223
5.7.2	Probetas de 10x20 cm	226
5.7.3	Preparación de 9 probetas por alternativa con tres dosificaciones	229
5.7.4	Capping (Estudio)	233
5.7.5	Ensayos a compresión y densidad de probetas a la edad de 3, 7 y 28 días.	236
5.7.5.1	MP1-HAR	237
5.7.5.2	MP2-HAR	244
5.7.5.3	MP3-HAR	251

5.7.5.4	MP4-HAR	257
5.7.5.5	MP5-HAR	263
5.7.5.6	MP6-HAR	269
5.7.5.7	MP7-HAR	275
5.7.5.8	MP8-HAR	281
5.7.5.9	MP9-HAR	287
5.7.5.10	MP10-HAR (MEZCLA PATRÓN).....	293
5.7.5.11	MP11-HAR	299
5.7.5.12	MP10-A1-HAR	305
5.7.5.13	MP10 -A2- HAR	311
5.7.5.14	MP10 –A3- HAR.....	317
5.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	323
5.9.	SELECCIÓN DE MEJORES ALTERNATIVAS Y/O REALIZACIÓN DE NUEVAS MEZCLAS DE PRUEBA.....	325
5.10.	VALIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	325
CAPITULO VI: MEZCLAS DEFINITIVAS.....		326
6.1	Diseño de mezclas definitivas	326
6.2	Ensayos de probetas	326
6.2.1	Ensayos de probetas a la edad de 3, 7, 28 y 56 días	326
6.3	Resultados de ensayos a compresión simple.....	330
6.4	Tratamiento Estadístico	333
6.4.1	Desviaciones Estándar.....	333
6.5	Resistencias características	338
CAPITULO VII: TABULACIONES Y GRAFICOS.....		348
CAPITULO VIII: ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....		378
CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		384
BIBLIOGRAFÍA.....		390

LISTA DE TABLAS

TABLA	PP
Tabla 1 Propiedades del UHPC en cifras	9
Tabla 2 Clasificación de los hormigones de alto desempeño según su resistencia	9
Tabla 3 Tipos de cementos.....	20
Tabla 4 Composición del cemento portland puzolánico	22
Tabla 5 Tipos y Clasificación de los Aditivos y sus efectos en el hormigón.....	32
Tabla 6 Ventajas de las Puzolanas en los Cementos Puzolánicos	36
Tabla 7 Composición química del cemento portland, microsílíce y nanosílíce	42
Tabla 8 Consistencia de los hormigones frescos	50
Tabla 9 (Extracto de ACI 214): Fuentes de variación de la resistencia del hormigón	63
Tabla 10 Deformaciones del hormigón.....	69
Tabla 11 Coordenadas de Ubicación de la Mina “Cantera Río Guayllabamba”	71
Tabla 12 Escala de color	77
Tabla 13 Tamices de la serie de Abrams	108
Tabla 14 Resumen de Propiedades de los Agregados	121
Tabla 15 Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para morteros cemento portland puzolánico tipo IP	133
Tabla 16 Resumen de ensayos del cemento	147
Tabla 17 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	149
Tabla 18 Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos pero como mínimo 15 ensayos	151
Tabla 19 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (menos de 15 ensayos).....	152
Tabla 20: Método Para Proporcionar Mezclas De Hormigón De Alta Resistencia ACI 211.4R-93 (Reaprobado 1998)	167

Tabla 21 Factor de corrección para la resistencia a la compresión según la relación altura/diámetro del cilindro	226
Tabla 22 Tolerancia de tiempo para los ensayos de especímenes	236
Tabla 23: Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos.....	345
Tabla 24 Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, Resultados de procedimientos.....	347
Tabla 25 Resumen de las mezclas para definir la mezcla patrón (MP1a MP11-HAR).....	350
Tabla 26 Cuadro de Resumen de Mezclas (MP10-A1,MP10-A2,MP10-A3)-HAR	363
Tabla 27 Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla definitiva MDEF-HAR	368
Tabla 28 Cálculo de cantidades para 1m ³ de hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69,90$ MPa ($f'_c=59$ Mpa).....	372
Tabla 29 Análisis de Precios Unitarios	374
Tabla 30 Comparación Proporciones definitivas para 1m ³ de hormigón	375
Tabla 31 Economía con el uso de Hormigón de Alta Resistencia en columnas	381

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PP
Gráfico 1 Curva tiempo resistencia MP1-HAR.....	243
Gráfico 2 Curva tiempo resistencia MP2-HAR.....	250
Gráfico 3 Curva tiempo resistencia MP3-HAR.....	256
Gráfico 4 Curva tiempo resistencia MP4-HAR.....	262
Gráfico 5 Curva tiempo resistencia MP5-HAR.....	268
Gráfico 6 Curva tiempo resistencia MP6-HAR.....	274
Gráfico 7 Curva tiempo resistencia MP7-HAR.....	280
Gráfico 8 Curva tiempo resistencia MP8-HAR.....	286
Gráfico 9 Curva tiempo resistencia MP9-HAR.....	292
Gráfico 10 Curva tiempo resistencia MP10-HAR.....	298
Gráfico 11 Curva tiempo resistencia MP11-HAR.....	304
Gráfico 12 Curva tiempo resistencia MP10-A1-HAR.....	310
Gráfico 13 Curva tiempo resistencia MP10-A2-HAR.....	316
Gráfico 14 Curva tiempo resistencia MP10-A3-HAR.....	322
Gráfico 15 Curvas Tiempo vs. Resistencia MP1 a MP11-HAR	351
Gráfico 16 Resistencia Promedio Requerida a la Compresión (28 Días) MP1 a MP11-HAR	352
Gráfico 17 Densidad del Hormigón endurecido (28 días) MP1 a MP11-HAR	353
Gráfico 18 Asentamiento de las mezclas MP1 a MP11-HAR	354
Gráfico 19 Evaluación de la Tabla de Diseño para determinar $w/(c+p)$, ACI.4R-93, en la Resistencia a la Compresión de las mezclas.	355
Gráfico 20 Evaluación del Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso en la Resistencia a la Compresión.....	356
Gráfico 21 Evaluación del Aditivo en la Resistencia a la Compresión	357
Gráfico 22 Evaluación del Porcentaje de Microsílice en la Resistencia a la Compresión	358

Gráfico 23 Análisis del % de crecimiento de Resistencia a la Compresión en las mezclas con Microsílice	359
Gráfico 24 Proporciones Mezcla Patrón: MP10-HAR	360
Gráfico 25: Proporciones en fases de la Mezcla Patrón: MP10-HAR.....	361
Gráfico 26 Curvas Tiempo Vs. Resistencia de las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR	364
Gráfico 27 Densidad del hormigón en las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR	365
Gráfico 28 Asentamiento del hormigón fresco en las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR	366
Gráfico 29 Curva Tiempo Vs. Resistencia de la mezcla: MDEF-HAR	369
Gráfico 30 Análisis de la resistencia a la compresión y sus porcentajes de crecimiento a cada edad en la mezcla: MDEF-HAR.....	370
Gráfico 31 Densidad, asentamiento y consistencia de la mezcla: MDEF-HAR	371
Gráfico 32 Proporciones por m ³ de hormigón Mezcla Definitiva $f'_{cr} = 69.9$ MPa ($f'_c = 59$ MPa), mezclado en concreteira.....	373
Gráfico 33 Costo vs. Resistencia a la Compresión del hormigón	376
Gráfico 34 Costo vs. Resistencia a la Promedio Requerida a la Compresión del hormigón	377

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PP
Figura 1 Esquema vertical y en planta de las Torres Petronas	3
Figura 2 Esquema del Edificio de almacenaje nuclear Hanford	5
Figura 3 Puente Confederación, Isla Príncipe Edward	6
Figura 4 Puente Peatonal de la Paz en Corea Del Sur	7
Figura 5 Proporciones por m ³ de un hormigón de ultra alta resistencia UHPC	8
Figura 6 Curva Tiempo vs. Resistencia para hormigones fabricados con los distintos tipos de cemento.	21
Figura 7 Partículas de agregados que ocupan el mismo volumen, pero con mayor requerimiento de pasta cementante	27
Figura 8 Puzolana natural de origen volcánico pumítico	35
Figura 9 Micrografía (sem) de una ceniza volante tipo F	37
Figura 10 Microsílice	38
Figura 11: Presentaciones comerciales de las microsílces empleadas en la investigación.....	39
Figura 12 Diferencias entre microsílce y nanosílce.....	40
Figura 13 Nanosílce	41
Figura 14 Filler Calizo	43
Figura 15 Presentación Comercial aditivo Glenium 3000 NS	47
Figura 16 Propiedades del Hormigón Fresco	49
Figura 17 Procedimiento de medición del asentamiento de una mezcla de hormigón.....	50
Figura 18 Propiedades del Hormigón Endurecido.....	57
Figura 19 Influencia de la relación w/(c+p) en la permeabilidad	59
Figura 20 Grieta producida por la retracción del hormigón.	61
Figura 21 Representación del módulo de elasticidad del hormigón.	65
Figura 22 Diagrama esfuerzo vs deformación hormigón.....	67
Figura 23 Diagrama Deformación vs. Tiempo	69
Figura 24 Mina “Cantera del Río Guayllabamba, Visualización de accesos”	70

Figura 25 Área Aproximada y puntos de coordenadas de la mina “Cantera Río Guayllabamba”	72
Figura 26 Escala de color	78
Figura 27 Estados de humedad de las partículas de agregados	90
Figura 28 Cemento armaduro especial de la línea Lafarge en una presentación en sacos de 50kg.....	122
Figura 29 Tipo de falla para cilindros de diferente esbeltez	227
Figura 30 Probetas cilíndricas de hormigón, se utilizaron las pequeñas de 10*20cm (derecha) para determinar la resistencia a la compresión.	228
Figura 31: Máquina universal de capacidad 100 Toneladas, para ensayo a la compresión de las probetas cilíndricas de hormigón	228
Figura 32 Distribución Frecuente de los datos vs Resistencias a la compresión, que se ajusta a una curva de Distribución Normal o de Gauss	334
Figura 33 Distribución Normal y Desviación estándar.....	335
Figura 34 Distribución Estadística Normal, Resistencia Característica (f'_{ck}).....	338

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PP
Anexo 1: Cantera Río Guayllabamba	397
Anexo 2: Selección y preparación del material	397
Anexo 3: Selección y preparación del material	398
Anexo 4: Ensayos agregados.....	398
Anexo 5: Ensayos agregados.....	399
Anexo 6: Ensayos cemento	399
Anexo 7: Ensayo cemento.....	400
Anexo 8: Proceso de elaboración de la mezcla	400
Anexo 9: Proceso de elaboración de la mezcla	401
Anexo 10: Proceso de elaboración de la mezcla	401
Anexo 11: Ensayo de probetas	402
Anexo 12 Ficha Técnica del cemento Armaduro elaborado por Lafarge	403
Anexo 13 Certificado de Calidad del cemento Armaduro	404
Anexo 14: Requisitos Físicos para cementos compuestos NTE INEN 490.....	405
Anexo 15 Requisitos de gradación para áridos gruesos NTE INEN 872	406
Anexo 16 Oferta de materiales y su costo, en la cantera “Río Guayllabamba”	407

RESUMEN

HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE

En la presente investigación se estudió el procedimiento para obtener hormigones de alta resistencia ($f'_c = 59$ MPa), utilizando los agregados de la cantera “Río Guayllabamba”, y el cemento “Armaduro Especial” de la línea Lafarge, para lo cual se diseñaron varias mezclas de prueba analizando: la influencia del tamaño nominal máximo del agregado grueso, la inclusión y el porcentaje de aditivos químicos y minerales, tales como los superfluidificantes reductores de agua de alto rango y la microsílíce, todo esto con las directrices de las normativas nacionales NTE-INEN, NEC-2011, e internacionales: ASTM y reglamentos ACI 211, 318 y 363.

Los resultados obtenidos fueron favorables, esto es, hormigones con buena trabajabilidad con resistencias promedio requeridas a la compresión de 70.68 MPa, con una desviación estándar promedio del 1.10 por ciento.

DESCRIPTORES:

HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA $f'_c = 59$ MPa / CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LAFARGE / AGREGADOS CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA / ADITIVOS QUÍMICOS Y MINERALES / DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN / CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN.

ABSTRACT

HIGH STRENGTH CONCRETE ($f'_c = 59\text{MPa}$) WITH THE SPECIAL LAFARGE ARMADURO CEMENT

In the present research the procedure to obtain high strength concretes ($f'_c=59\text{ MPa}$), was studied with aggregates from “Guayllabamba River” quarry and the Special Lafarge Armaduro cement, for which were designed various trial mixtures analyzing the size influence with of the coarse aggregate, the inclusion of chemical and mineral admixtures, such as the superfluidifiers of high water reducing range, and the microsilica. Everything was covered with national regulations as NTE-INEN, NEC-2011, and the international one as: ASTM, and ACI 211, 318 and 363.

After developing all this experimental work, favorable results were achieved concretes with good workability and an average compression strength of 70.68 MPa, with a standard deviation average of 1.10 percent.

DESCRIPTORS:

HIGH STRENGTH CONCRETE $f_c = 59\text{ Mpa}$ / LAFARGE CEMENT ARMADURO SPECIAL / AGGREGATE QUARRY GUAYLLABAMBA RIVER / CHEMICAL AND MINERALS ADMIXTURES/ DESIGN OF CONCRETE MIXTURES / QUALITY CONTROL CONCRETE.

Quito, 17 de enero de 2014

CERTIFICADO


A quién interese:

Yo, LISBETH NATALY ALVAREZ CHAFUEL, con cédula de ciudadanía 100316260-7 certifico que he revisado la traducción del resumen de la tesis del señor JUAN CARLOS MOYANO VALENZUELA, con cédula de ciudadanía 100356300-2 cuyo tema versa sobre: “HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f_c=59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE”, requisito para obtener el título de Ingeniero Civil.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad, y el interesado puede hacer uso del presente, como a bien tenga.

Adjunto una copia del título que valida mi suficiencia en inglés.

Atentamente,



LISBETH NATALY ALVAREZ CHAFUEL
C.C. 100316260-7



REPÚBLICA DEL ECUADOR
MINISTERIO DE EDUCACION

CONFIERE

A *Lisbeth Nataly Alvarez Chafuel* EL

CERTIFICADO DE CAPACITACION OCUPACIONAL

POR HABER APROBADO EL CURSO DE *Suficiencia en el Idioma Inglés*

EN EL CENTRO OCUPACIONAL *Howard*

DEL *01-mar-2010* AL *01-mar* DE *2011* POR *480* HORAS.

Lugar y fecha: *Quito, marzo 01 del 2011*



Jefe de la División Provincial
Educación Popular Permanente



Director del Centro Ocupacional

MARLENE HERRERA

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Debido a la escasa investigación sobre hormigones de alta resistencia en nuestro país, y ante la creciente demanda de este material de construcción, mediante esta investigación, se han realizado los estudios tanto experimentales como teóricos sobre el proceso de dosificación, así como la fabricación del hormigón de alta resistencia, siguiendo métodos convencionales, con materiales de nuestro medio, los mismos que por su naturaleza son fáciles de adquirir y además relativamente económicos, lo que hará de éste, un material accesible para su producción sobre todo en gran escala.

1.1.1 Historia y Evolución del Hormigón de Alta Resistencia

A continuación se indicará brevemente la evolución histórica del hormigón, la forma como se ha llegado en la actualidad al hormigón de alta resistencia y se discutirá sobre algunas de las estructuras que se han construido en los últimos tiempos con este nuevo material.

El empleo de materiales cementantes probablemente nos lleva al inicio de la civilización cuando se utiliza la arcilla o una mezcla de cal y arena para unir las piedras.

Según, (HERRERA, 2008, págs. 56,57):

En el año 5600 A.C., en Yugoslavia, en las riberas del río Danubio se tienen vestigios históricos que revelan que fue construida la más antigua obra de hormigón, posteriormente, en el año 2650 A.C. se utilizó el hormigón en la construcción de las pirámides de Gizeh por parte de los egipcios. En el año 500 A.C en la antigua Grecia se mezclaban compuestos basados en caliza calcinada (cal viva) y agua a la cual se adicionaba arena, piedra triturada, tejas rotas o ladrillo, dando origen al primer hormigón. (pp. 56,57).

En Roma utilizaban tierras o cenizas volcánicas también llamadas puzolanas, que al combinarse químicamente con la cal, dieron origen al primer cemento puzolánico, con las cuales se construyeron grandes obras.

El hormigón fue muy poco utilizado tras el ocaso del imperio romano, no se encuentran muestras de su uso en grandes obras hasta el siglo XIII, en que se vuelve a utilizar en los cimientos de la Catedral de Salisbury, o en la célebre Torre de Londres, en Inglaterra. Durante la edad media su empleo fue escaso y muy poco representativo. En el siglo XVIII, (año 1.759) se reconstruye el faro de Edystone en la costa Cornwall, utilizando piedras unidas con un mortero de cal calcinada desarrollado por John Smeaton, un ingeniero de la ciudad de Leeds en el Reino Unido¹.

En 1.824 los investigadores James Parker y Joseph Aspdin, patentaron un nuevo cemento hidráulico artificial, que denominaron cemento Portland, fabricado por la combustión conjunta de caliza y carbón. En 1854 se solicitó la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro, material que se denominaría hormigón armado y se atribuye a William Wilkinson².

(YANCHA, 2013), Tesis, indica:

“A principios del siglo XX a partir de los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, se produce el auge de la industria del cemento y del hormigón; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular; y los métodos para transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens (1903 y 1907), hacen del hormigón un material muy accesible y ventajoso para la construcción.”

Inicialmente las resistencias alcanzadas por el hormigón fueron de alrededor de 14 MPa, por el año de 1930 se consiguieron 28MPa. A partir de este punto se marca una tendencia creciente a optimizar las propiedades del clinker para obtener mayor resistencia y durabilidad, así como los medios de producción y dosificación con un mayor conocimiento de las propiedades mecánicas y características reológicas del hormigón.

A partir de esas primeras experiencias fueron aumentando los conocimientos de la relación entre la calidad de los agregados y la calidad del concreto: tamaño máximo de los agregados gruesos, módulo de finura de los agregados finos, el

¹ http://www.ciment-catala.org/ePub/easnet.dll/ExecReq/Page?eas:template_im=001C29&eas:dat_im=001BA7

² <http://www.valderrivas.es/es/portal.do?IDM=62&NM=3>

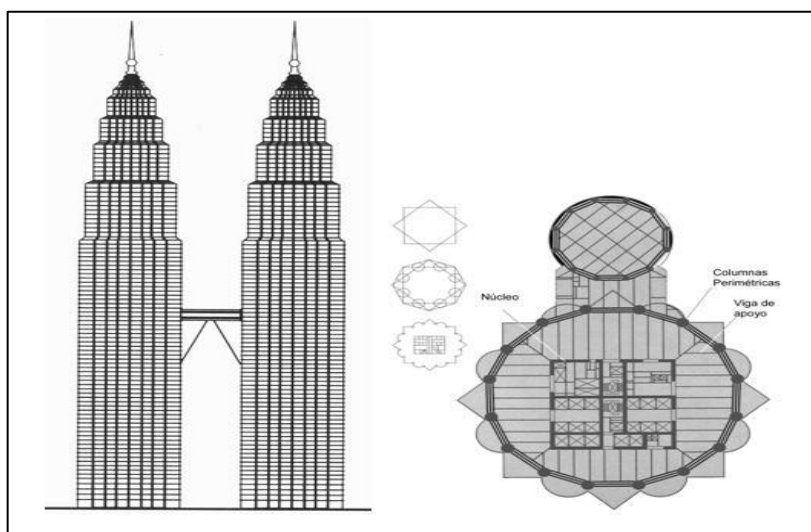
tipo de cemento utilizado, el tipo de súper plastificante utilizado y otros agregados que se fueron introduciendo en la elaboración del concreto, que hoy llega a resistencias superiores a los 150 MPa, con la utilización de los súper plastificantes a base de policarboxilatos, la microsílíce (humo de sílice), nanosílíce, filler calizo, fibras de acero, polipropileno, o acetato de polivinilo, y otros.

Podemos citar como ejemplos de la utilización del hormigón de alta resistencia, estructuras tales como:³

- Las torres Petronas de Kuala Lumpur – Malasia.⁴
- Edificio de almacenaje Nuclear Hanford, Washington.
- Puente confederación, Isla Príncipe Edward, Canadá.
- Puente de la paz, Seúl, Corea de Sur

Las Torres Petronas

Figura 1 Esquema vertical y en planta de las Torres Petronas



Fuente: (ALLAUCA, AMEN, & LUNG)

Fueron los edificios más altos del mundo entre 1998 y 2003, con una altura de 451 metros y 88 pisos, consisten básicamente en dos torres conectadas por un puente. Fueron construidas con hormigón de alta resistencia, siendo colocado en el núcleo de ambas torres y en las columnas perimetrales, el mismo que le otorgó una mayor rigidez a la estructura, disminuyendo la oscilación lateral comparada con

³ (ALLAUCA, AMEN, & LUNG, págs. 4,5)

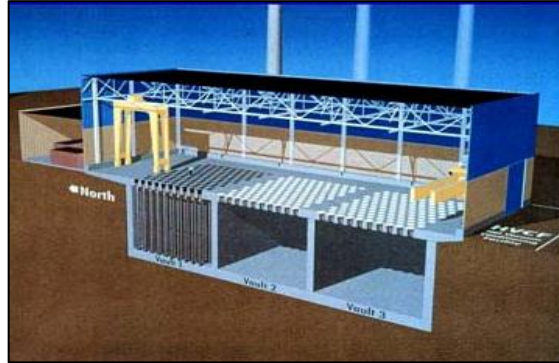
⁴<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%207/FORMAS%20VERTICALES.HTM>

las construidas con perfiles de acero. Este hormigón de alta resistencia fue clasificado en grados según la resistencia de diseño, para los elementos estructurales:

- Grados 80, 60 y 45, con resistencias mecánicas a la compresión 80, 60 y 45 MPa respectivamente a los 56 días de edad, el cemento utilizado contenía adiciones de ceniza volante y también se incorporó microsílce, teniendo las mezclas un asentamiento de 20cm, cada hormigón se ubicó estratégicamente para brindar el mayor beneficio estructural y de trabajabilidad, así por ejemplo: el de 80 MPa se colocó en los niveles inferiores de las columnas, en las paredes del núcleo y en las vigas collar, mientras que el de 60MPa se colocó en los niveles intermedios de las columnas, así como en la cimentación de las torres, el hormigón de grado 45 también fue colocado en una parte de la cimentación.
- Grados 40 y 35: hormigón con resistencias de 40 y 35 MPa respectivamente a los 28 días, utilizados en los pisos superiores y para llenar las losas compuestas de acero y concreto; se aprovechó la alta resistencia a corto tiempo para que los trabajadores pudieran entrar en el área.

Edificio de almacenaje nuclear Hanford

Figura 2 Esquema del Edificio de almacenaje nuclear Hanford



Fuente: (ALLAUCA, AMEN, & LUNG)

En esta estructura se requirió de la utilización de hormigón de alta resistencia en las paredes y en el techo de las bóvedas de contención.

Requisitos técnicos:

- Altas resistencias tempranas para poder desencofrar con prontitud.
- Alta durabilidad.
- Por su arquitectura se necesitaba que el hormigón sea fácil de colocar, además tener un control de la temperatura del hormigón.

Detalles de la mezcla de hormigón de alta resistencia:

- Relación agua /materiales cementantes: 0.37 de con un asentamiento de 20cm
- Cemento Portland tipo I: 232 kg/m³,
- Microsílice: 36 kg/m³ (11% del peso de los materiales cementantes).

Resultados de la resistencia a la compresión:

- 28 días de edad= 43MPa.
- 90 días de edad= 52MPa.

Puente Confederación

Figura 3 Puente Confederación, Isla Príncipe Edward



Fuente:⁵

El puente Confederación se encuentra uniendo la Isla Príncipe Edward con la Costa este de Canadá, tiene una impresionante longitud de 12,9 Km (8 millas), es el puente más largo del mundo sobre agua cubierta de hielo. Se ha ganado docenas de premios internacionales de ingeniería desde su construcción. Fue terminado en 1997, construido con largos tramos prefabricados (250m de longitud máxima) y alrededor de 40000m³ de hormigón con un 7.5% de microsílíce, en el cemento, lo que permitió alcanzar resistencias de 55MPa a los 28 días.

Detalles técnicos:

- Período de diseño: un siglo (100 años).
- Corto tiempo de construcción.
- Canal de navegación de al menos 172 m de ancho, 39 m de altura.
- Tres carriles para el tránsito en la superestructura.
- La falla o colapso de uno de los tramos no causaría el fallo o colapso progresivo de los otros.
- Debían ser tomadas en cuenta las cargas medioambientales como el hielo, viento, olas y consecuentemente cargas de sismo y temperatura.

⁵ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DGJ_8472_Confederation_Bridge.jpg#

- La estructura debía poder soportar en cierta magnitud la colisión de embarcaciones.
- El puente debía ser estético arquitectónicamente diseñado con curvas elegantes para asegurar que los conductores permanezcan atentos, y para reducir el potencial de accidentes. La curva más alta en el intervalo de navegación llega a 60 metros sobre el agua, permitiendo que los grandes buques de mar, incluyendo algunos cruceros, puedan navegar entre sus pilares, que están a 250 metros de distancia.

Puente de la Paz⁶

Un dato interesante: hormigón de ultra alta resistencia (UHPC)

El puente de Seonyu en Seúl, Corea de Sur, también llamado “Puente Peatonal de la Paz”, es la primera y más actual estructura construida totalmente con hormigón de ultra alta resistencia (UHPC) Inaugurada a mediados del 2002 que comunica la ciudad de Seúl con la isla de Seonyu en el río de Han.

Figura 4 Puente Peatonal de la Paz en Corea Del Sur



Fuente:⁷

Datos técnicos:

⁶http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/Los_Concretos_Ultraresistentes.pdf

⁷http://www.lafarge.ua/wps/wcm/connect/b9c2bd004754c96496779642b7ef7f43/Cement_Footbridge_Seoul_South_Korea_Ductal.jpg?MOD=AJPERES&CACHEID=b9c2bd004754c96496779642b7ef7f43

Longitud total del puente = 430m

Dimensiones de arco:

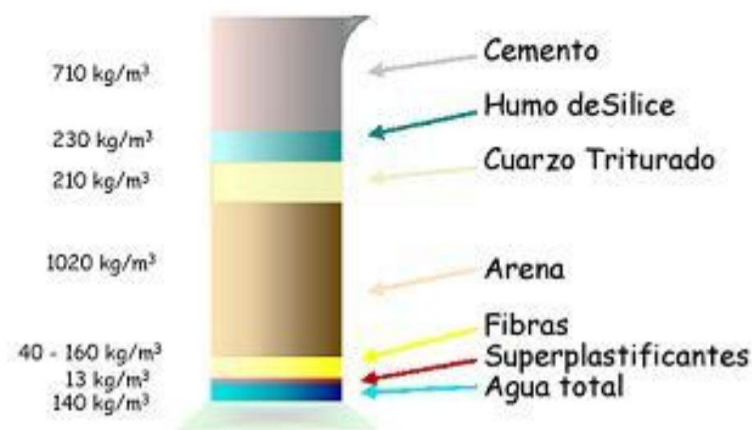
Luz = 120m

Altura = 15m, sin refuerzo pasivo.

Sección transversal = losa superior transversal acanalada de 3cm de espesor y 4,3 m de ancho, dos almas de 1,23 m de altura por 16 cm de espesor, proporciones verdaderamente increíbles imposibles de lograr con un concreto convencional.

El UHPC está basado en el principio de minimizar defectos como las microfisuras y los vacíos, para lograr un mayor porcentaje de la carga última potencial e incrementar sustancialmente la durabilidad. Al generar una mezcla mucho más densa, a través de la eliminación de los agregados de mayor tamaño y la optimización de la masa granular, se obtiene una matriz con alta fuerza de compresión por encima de los 1800 kg/cm². Si a esto se agrega la aplicación de un tratamiento de curado mediante calor, se obtienen mejoras de la microestructura del material e incremento de la resistencia a la compresión hasta más de 2000 kg/cm². Este tratamiento de calor hace que a partir de este momento el material sea estable y exhiba sólo tensiones diferidas menores.⁸

Figura 5 Proporciones por m³ de un hormigón de ultra alta resistencia UHPC



⁸ <http://es.scribd.com/doc/163020571/TC-CLASE-I>

Tabla 1 Propiedades del UHPC en cifras

Resistencia a la compresión	180 - 230 MPa
Resistencia a la flexión	32 - 50 MPa
Resistencia a la tensión	6 - 8 MPa
Módulo de elasticidad	50000 MPa
Aire comprimido	2 - 4%
Retracción	500 um/m
Capilaridad	< 1 %
Fluidez (Cono de Abrams)	500 - 700 mm

Fuente:⁹

Estas magnificas obras de ingeniería sin lugar a duda dejan abierta la puerta a nuevos retos, mejores y más importantes estructuras, donde se necesitará mayor calidad de los materiales de construcción, entre ellos el hormigón.

Clasificación del hormigón según su resistencia

Entre la gama de hormigones de última generación, está el hormigón de alto desempeño, que incluye por definición al hormigón de alta resistencia, es por ello que se ha considerado necesario presentar esta clasificación de dichos concretos a partir de su resistencia a la compresión como sigue:

Tabla 2 Clasificación de los hormigones de alto desempeño según su resistencia

Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Hormigón
Entre 50 y 74,99	I
Entre 75 y 99,99	II
Entre 100 y 124,99	III
Entre 125 y 149,99	IV
De 150 en adelante	V

Fuente: (INECYC, CAMPOSANO, J., 2011)

⁹http://www.institutoconstruir.org/centrocivil/concreto%20armado/Los_Concretos_Ultraresistente_s.pdf

1.1.2 Importancia de la Investigación

En el desempeño de la ingeniería civil, específicamente en la construcción de edificios de gran altura, puentes de grandes luces, presas, acueductos, túneles o en general obras civiles de gran magnitud donde el hormigón tradicional no es conveniente (estructuralmente, económicamente, estéticamente), para soportar los elevados esfuerzos producidos por las solicitaciones que se generan en la estructura, o cuando, por los requerimientos arquitectónicos no se permiten grandes dimensiones en las secciones de los elementos estructurales, o cuando el volumen de hormigón convencional por su gran magnitud en metros cúbicos, es económicamente inviable, el hormigón de alta resistencia juega un papel muy importante, es por ello que la investigación en este tipo de hormigón se vuelve indispensable, más aún en Ecuador un país en vías de desarrollo, en donde la construcción es la fuente de empleo más importante, el eje clave para el crecimiento económico de nuestro país.

La presente investigación servirá de punto de análisis para futuras investigaciones donde se estudie el hormigón de alta resistencia con diferentes tipos de cementos, áridos o aditivos, resinas, fibras, polímeros, etc, disponibles en el mercado, además dependiendo del tipo de obra solicitación, o condición ambiental a la que estará sometido el hormigón, mejorando el conocimiento sobre el material de construcción más utilizado a nivel mundial.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

- Dosificar y fabricar un hormigón de alta resistencia que tiene una resistencia especificada f'_c de 59.0 MPa y una resistencia promedio requerida f'_{cr} de 69.9 MPa, en concordancia con los comités ACI 318S-08, ACI 211.4R-98, ACI 363.2R-98, resultante de la mezcla de “Cemento Armaduro Especial de Lafarge” y agregados del sector de Guayllabamba del cantón Quito, mezcla a la que se adicionará un aditivo mineral llamado microsilíce y un aditivo químico superfluidificante o reductor de agua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obtener la dosificación adecuada para producir un hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69,9$ MPa ($f'_c = 59$ MPa).
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados del sector de Guayllabamba y del cemento armaduro especial de Lafarge en base a ensayos normalizados por la NTE-INEN y la ASTM.
- Establecer un orden adecuado para la colocación de los materiales en la concretera mecánica para el proceso de mezclado del hormigón de alta resistencia.
- Evaluar el uso de microsilíce para producir hormigón de alta resistencia.
- Analizar física y mecánicamente el comportamiento del hormigón de alta resistencia, en estado fresco y en estado endurecido.
- Cuantificar el coste económico por metro cúbico para el hormigón alta resistencia de $f'_{cr} = 69,9$ MPa ($f'_c = 59$ MPa).
- Comparar ventajas y desventajas de utilizar hormigón de alta resistencia, versus hormigón convencional.

1.3 Alcance

En el presente trabajo se investigará fundamentalmente cómo obtener hormigones de alta resistencia, con materiales disponibles en el mercado nacional, y con métodos de producción convencionales, para ello se estudiará los componentes necesarios para su fabricación, tales como los áridos, mismos que serán los procedentes del sector de Guayllabamba, el cemento armaduro especial de la línea Lafarge, el agua de mezclado y por supuesto los aditivos minerales y químicos; las características de cada uno de estos respaldando los resultados con ensayos, los requerimientos técnicos que demandan las normas NTE-INEN, ASTM y de los Comités ACI, se realizará un énfasis especial en el proceso de dosificación y fabricación de las mezclas, analizando comparativamente diferentes tipos de mezclas, con la introducción de aditivo y microsilíce, para obtener una resistencia especificada $f'_c=59$ MPa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Los hormigones de alta resistencia, requisitos¹⁰

El hormigón es un material artificial compuesto, resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante), agua y agregados (arena, grava) y aire, de forma fundamental, así como de diferentes tipos de aditivos o adiciones químicas o minerales, que buscan mejorar la calidad del mismo, u otorgarle características específicas. La tecnología permite que cada día se dispongan de hormigones de mayor calidad, hormigones especiales, entre los cuales se encuentra el hormigón de alta resistencia.

El hormigón de alta resistencia es un hormigón de alto desempeño, es decir, como su nombre lo indica tiene una elevada capacidad para soportar los esfuerzos especialmente de compresión que se presentan en las estructuras, desde el momento de su construcción y durante toda su vida útil, este tipo de hormigón ha tenido gran auge en los últimos años por la versatilidad que ofrece, aporta características mecánicas muy superiores a los hormigones convencionales, unas ventajas en resistencia, costo, compactación y durabilidad de los elementos y estructuras.

Según el comité ACI 211.4R-93 el hormigón de alta resistencia está definido como un hormigón que tiene una resistencia a la compresión especificada f'_c de 6000 psi (42 MPa) o mayor.

A continuación se presenta las principales características y ventajas del hormigón de alta resistencia:

- Excelente resistencia mecánica a esfuerzos fundamentalmente de compresión (igual o superior a 42 MPa).
- Buen comportamiento a la fatiga.
- Reducción de las dimensiones de los elementos, por ello del peso en cimentaciones.
- Reducción de las deformaciones y mejor comportamiento a tracción.

¹⁰ <http://www.valderrivas.es/es/portal.do?IDM=62&NM=3>

- Baja permeabilidad y mayor compacidad, parámetros fundamentales para elementos expuestos a agresividad ambiental.
- Permite aumentar las luces entre elementos, tal es el caso de los puentes, túneles, acueductos, vanos de edificaciones, alturas de muros, etc.
- Disminución de costos en elementos auxiliares.
- En el proceso constructivo: reducción de ruidos frente a soluciones metálicas.
- Excelente comportamiento frente al fuego.
- Requiere mínimo mantenimiento, que en algunos casos puede ser hasta totalmente nulo.

A pesar de tener muchas ventajas, el hormigón de elevada resistencia también tiene desventajas las cuales mencionamos a continuación:

- Las mezclas de hormigón de alta resistencia tienen un elevado coste económico en comparación con las mezclas de hormigón convencional, cuanto mayor sea la resistencia mayor será el costo, actualmente se encuentran en una proporción alrededor de 2 a 3 veces más costosas.
- La calidad de los materiales empleados en las mezclas, así como los procesos de fabricación deben ser muy estrictos, para asegurar la calidad del producto final, parámetro que en el hormigón convencional es mucho más flexible.
- El personal requerido para la fabricación del hormigón de alta resistencia debe ser más entrenado y calificado en comparación con el requerido para la fabricación de hormigón convencional.
- Por tener un factor cemento muy elevado, tiene una elevada retracción lo cual puede producir la fisuración del hormigón, sin los cuidados necesarios, por ello es conveniente armarlo con fibra de acero o polipropileno y emplear aditivos curadores (internos o superficiales), este parámetro será motivo de otra investigación.

Entre las aplicaciones del hormigón de alta resistencia podemos mencionar:

- En general los elementos o construcciones que tienen casi cualquier tipo funcionamiento estructural preponderante; a compresión, flexión o macizas, es decir casi todas las estructuras, cabe indicar que el comportamiento a tracción de todo hormigón, no es el mejor, por cuanto ante este tipo de sollicitación será preferible utilizar otros materiales como es el caso del acero de refuerzo (filosofía del hormigón armado: hormigón actuando frente a los esfuerzos de compresión, acero soportando esfuerzos de tensión o tracción).
- Construcción de puentes y pasarelas.
- Fabricación de elementos prefabricados y dovelas para túneles.
- Con fines de reparación de elementos o estructuras.
- Revestimientos de túneles, traviesas y tuberías.
- Construcción de cimentaciones, núcleos y pilares de edificios altos o rascacielos.

Requisitos:

El hormigón de alta resistencia por el hecho de ser un material con características especiales en su desempeño requiere de un estricto control de calidad, mucho mayor al hormigón convencional, desde el momento de su dosificación hasta el instante de fabricación y puesta en obra. Para dosificar y fabricar un hormigón de alta resistencia es necesario estudiar muy bien cada material componente, se debe identificar el porcentaje adecuado en que intervendrá cada uno de estos materiales, a menudo, se requieren muchos ensayos con distintas dosificaciones para determinar las proporciones óptimas de los componentes en la mezcla del hormigón de alta resistencia.

Selección de materiales:

El parámetro crítico para la fabricación de este tipo de hormigones, es sin duda, la selección previa del material; se deberá elegir correctamente la cantera para la extracción de los áridos, el tipo de cemento, adiciones y aditivos a utilizarse, ya que con una mayor calidad se tendrá mayor facilidad para conseguir resistencias elevadas, así como resultará una mezcla con menor coste económico.

- El agregado grueso debe ser triturado, proveniente de rocas duras libres de vicios ocultos, con tamaños nominales máximos de 3/4", 1/2", 3/8", (19.0, 12.7, 9.5 cm), mientras menor sea el tamaño nominal mejor será la trabajabilidad, resistencia y compacidad del hormigón.
- Los agregados especialmente el agregado fino debe estar libre de sustancias perjudiciales como materia orgánica, limos, arcillas y cualquier exceso de finos. Además deben estar bien gradados.
- El cemento elegido debe ser de elevada categoría resistente, este cemento contendrá las adiciones necesarias de puzolanas, escorias de altos hornos, humo de sílice, etc., según se requiera.
- El aditivo seleccionado generalmente de tipo superplastificante deberá ser compatible con el cemento elegido.
- El agua en lo posible debe ser potable, o estar libre de sustancias químicas u orgánicas perjudiciales para el proceso de hidratación de las partículas de cemento.

Propiedades y procesos requeridos:

- Para lograr la resistencia requerida la relación agua/cemento debe ser muy baja y, por tratarse de hormigones de elevadas resistencias, resulta imprescindible medirla con gran precisión. Para ello es necesario tener en cuenta el agua que contengan, no sólo los áridos, sino también el aditivo superfluidificante, así como la posible agua residual que pueda contener la amasadora tras proceder a su limpieza. Por otra parte, si se incorporan adiciones a la masa (microsílice o cenizas volantes), es conveniente referirse a la relación agua/(cemento más adición o material cementante), ya que las adiciones actúan como un conglomerante más. En teoría, el valor mínimo de la relación $w/(c+p)$ que se requiere para una hidratación completa del cemento es del orden de 0,25 a 0,28, como siempre, el valor óptimo habrá de determinarse en cada caso mediante ensayos previos de laboratorio, habida cuenta de la resistencia especificada en proyecto, de la

forma de puesta en obra y de las restantes características de la obra en cuestión.¹¹

- Como todo hormigón en estado fresco debe tener una adecuada consistencia y trabajabilidad, para que la labor de transporte y colocación en la obra se facilite, este parámetro es fundamental por la relación agua-material cementante muy baja, el hormigón de alta resistencia se puede colocar con asentamientos muy altos, superiores a 8 pulgadas sin problemas de segregación con un aditivo reductor de agua de alto rango, o superfluidificante (HRWR), estos hormigones con HRWR son muy efectivos en llenar los vacíos entre los espacios cercanos del refuerzo, pero generalmente para la mayoría de aplicaciones, se pueden colocar sin problemas los hormigones con asentamientos de 2 a 4 pulgadas de asentamiento, además la mezcla debe ser lo más económica posible esto en comparación a sus beneficios mecánicos.
- Curar continuamente el hormigón tan pronto como sea practicable (asegurando que el hormigón ha desarrollado suficiente resistencia para soportar el baño en la cámara de curado, o el esfuerzo que significa aplicación con brocha o rodillo algún curador, o la pertinencia de usar toldos sin deterioro de las superficies de hormigón) y prolongarlo el mayor tiempo posible.
- En hormigones masivos, es necesario controlar el calor de hidratación con adiciones minerales activas o el uso de retardante de fraguado. (Cenizas volantes, microsílíce, escorias, etc.).¹²

Mano de obra, equipos, y control de calidad:

- Es fundamental capacitar técnicamente a la mano de obra para calificarla y contar con una rígida supervisión.
- Disponer de las herramientas y el equipamiento adecuado en laboratorios de control de calidad.

¹¹ <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/3-relacion-aguacemento-de-hormigones-de.html>

¹² (Hormigón de Alto Desempeño(HAD))

- Procesos constructivos adecuados, centrales hormigoneras con mezclador incorporado, centrales de procesamiento de agregados.

En normativas:

Los requisitos exigibles a los materiales que forman las mezclas de hormigón normal pueden no ser suficientes si se quiere conseguir un hormigón de elevadas prestaciones o de alta resistencia ya que presentan unas propiedades y características propias, que no son una mera extrapolación de las que tiene el hormigón normal.

2.2 Componentes del hormigón y sus cualidades físico-mecánicas

El hormigón por el hecho de ser un material artificial compuesto, cada elemento del que está conformado intervendrá afectando sus propiedades en estado fresco así como en estado endurecido, a continuación vamos a detallar cada material componente que interviene en la fabricación del hormigón de alta resistencia.

2.2.1 El Cemento

El cemento portland es un material conglomerante de tipo hidráulico, que se forma a partir de la mezcla de la roca caliza y la arcilla bien molida y calcinada en hornos rotatorios a temperaturas de 1450 °C, mezcla conocida como clinker portland, cuando a este producto se le adiciona yeso se convierte en cemento; el yeso, le da la propiedad para que pueda fraguar y endurecerse.

Además se dice que es un material conglomerante porque es capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas, e hidráulico ya que puede endurecer al estar en contacto con el aire, y estando sumergido en agua siendo esta la principal característica que ha permitido su gran utilización a lo largo del tiempo.¹³

La influencia que el cemento portland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del hormigón, derivan fundamentalmente de la

¹³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>

composición química del clinker y de su finura de molienda. En el caso de los cementos portland-puzolánicos, también influyen las características físicas y químicas de la puzolana y el contenido de la misma en el cemento.

Hay 4 compuestos principales en el cemento portland que totalizan alrededor del 90 % o más, de la masa total del cemento y estos son:

- 3CaO SiO_2 C3S, silicato tricálcico 40-60 %,
- 2CaO SiO_2 C2S, silicato dicálcico 20-30 %,
- $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ C3A, aluminato tricálcico 7-14 %,
- $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ C4AF, aluminoferrito tetracálcico 5-12 %.

Cada tipo de cemento contiene los mismos 4 compuestos principales, pero en diferentes proporciones.

En términos prácticos los silicatos de calcio (C3S y C2S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B, hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el C3S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C2S a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C3A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

El aluminoferrito tetracálcico (C4AF), es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clinker portland se refiere a los álcalis, óxidos de sodio (Na_2O) y de potasio (K_2O), cuyo contenido

suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para establecer un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento portland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresados como Na_2O , a un máximo de 0.60% cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos (potencial álcali-sílice).¹⁴

Tipos de cementos:

Durante la elaboración del clinker portland, se realizan ajustes para regular la presencia de cada uno de los compuestos del cemento y sus proporciones, clasificando al cemento en 5 tipos, q se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3 Tipos de cementos

Tipo	Característica	Ajuste principal	Aplicaciones
I	Sin características especiales	Sin ajustes específicos en este aspecto	Uso general
II	Moderados: calor de hidratación y resistencia a los sulfatos	Moderado C3A	Tuberías de drenaje (muros de contención, pilas, presas)
III	Alta resistencia rápida	Alto C3S, mayor finura	Prefabricados
IV	Bajo calor de hidratación	Alto C2S, moderado C3A	Presas
V	Alta resistencia a los sulfatos	Bajo C3A	Plataforma marina

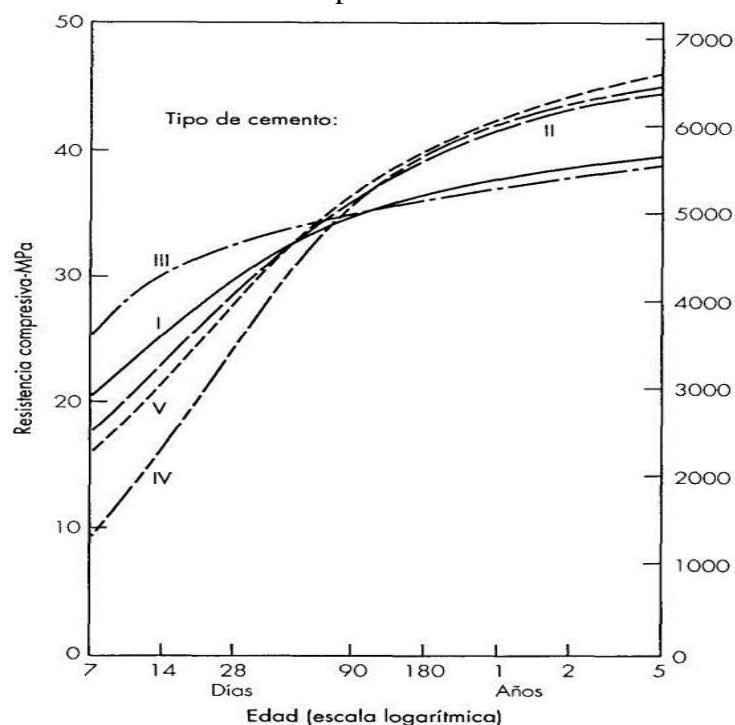
Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014, Adaptado de
<http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

A continuación se presenta la curva tiempo versus resistencia, para hormigones que contienen 335 kg. de cemento por metro cúbico hechos con cemento Portland de distintos tipos: común (tipo I), modificado (tipo II), de endurecimiento rápido (tipo III), bajo en calor (tipo IV), resistente al sulfato (tipo V); diagrama dónde se puede observar que aproximadamente a los 90 días todos los tipos de cemento permiten obtener un hormigón con resistencia similares, aunque después de esta edad los hormigones fabricados con cementos tipo I y III presentan menores resistencias que los fabricados con cementos tipo IV, V y II, y además es una

¹⁴ <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

fuelle para evaluar cual cemento conviene emplear según los requerimientos de resistencia de la obra.

Figura 6 Curva Tiempo vs. Resistencia para hormigones fabricados con los distintos tipos de cemento.



Fuente: ¹⁵

Según la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490-5 Rev.Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011), el cemento hidráulico compuesto para uso en hormigón para la construcción en general, se clasifica según el material que se coloca junto con el clinker portland, y se distinguen tres tipos: IS, IP, IT, que se detallan en seguida:

- **Tipo IS: Cemento portland de escoria de altos hornos.**

Este cemento se elabora moliendo o mezclando juntos escoria de cemento Portland con escoria de alto horno granulados, que es un producto de desperdicio en la manufactura de lingotes de hierro. La escoria contiene cal, sílice y alúmina.

¹⁵ <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

- **Tipo IP: Cemento portland puzolánico.**

El cemento portland puzolánico, es un cemento hidráulico compuesto, que se fabrica agregando al clinker portland el material denominado puzolana. Cuya composición se indica a continuación:

Tabla 4 Composición del cemento portland puzolánico

Material componente	Porcentaje en el cemento portland puzolánico
Clinker Portland	55 a 70
Puzolana	30 a 45
Yeso	2 a 4

Elaborado por: MOYANO J., Enero / 2014, adaptado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>

- **Tipo IT: Cemento compuesto ternario.**

Es un cemento resultante de combinar los dos tipos anteriores: tipo IS y tipo IP.

En hormigones de alta resistencia:

Para obtener hormigones de alta resistencia, el cemento a emplear debe proporcionar elevada resistencia mecánica con la finalidad de conseguir una pasta de elevadas prestaciones. En la elección del tipo de cemento debe tenerse en cuenta que, son preferibles los cementos que dan lugar a una baja demanda de agua y tienen un menor contenido en aluminato tricálcico (C3A). La dosis de cemento suele ser alta, del orden de 450 a 600 kg/m³ de hormigón. La experiencia demuestra que por encima de estos valores se produce una disminución de resistencia cuando se utilizan superfluidificantes, amén de producirse los correspondientes incrementos de calor de fraguado, retracción y coste del hormigón.

Precauciones con el cemento:

El cemento utilizado en la fabricación de hormigón en general, debe estar totalmente seco y suelto, y no debe presentar grumos de fraguado anticipado, debe ser adecuadamente almacenado en un sitio cubierto, seco, con ventilación apropiada y evitando directamente el contacto con el piso.

2.2.2 Los Agregados ¹⁶

Los áridos o agregados son fragmentos que se originan por la disgregación de las rocas, debido a la acción de diferentes agentes naturales. Son, por tanto, un material de origen sedimentario, que puede obtenerse a pie de la roca de la cual se ha disgregado, o en los cauces de los ríos, donde queda depositado.

Antiguamente se decía que los agregados eran elementos inertes dentro del concreto ya que no intervenían directamente dentro de las reacciones químicas, la tecnología actual establece que siendo este material el que mayor porcentaje de participación sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto. Por citar un ejemplo se tiene la reacción álcali-sílice.

La influencia de este material en las propiedades del concreto tiene efectos importantes no sólo en el acabado y calidad final del concreto, sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

Clasificación por el tamaño de sus granos:

Agregado grueso: es, a los efectos de dosificar y fabricar hormigón, el agregado que queda retenido en el tamiz N°4 (4,8mm) de la serie de Abrams.

Agregado fino: Es el agregado que pasa (como mínimo un 95%) el tamiz N°4 (4.8mm).

Para hormigones de alta resistencia:

Los agregados para hormigones de alta resistencia además de cumplir estrictamente las características indicadas para hormigones convencionales indicados en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 872. Áridos para Hormigón. Requisitos, 2011), es recomendable que reúnan los siguientes requisitos:

Agregado grueso

El árido grueso debe ser una gravilla inerte que posea como mínimo la misma resistencia que se exige para el hormigón, y que tenga una densidad no inferior a

¹⁶ <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

2,60 T/m³. Son muy convenientes los áridos de machaqueo procedentes de rocas basálticas, ofitas o incluso calizas si son de buena calidad, siendo deseable que su coeficiente de desgaste en el ensayo de los ángeles no sea superior a 20%.

Diversos ensayos demuestran que es posible obtener mejores resultados con áridos calizos que con áridos silíceos, debido probablemente a la mayor absorción de agua de los primeros, lo que mejora la adherencia pasta árido y, con ello, la resistencia.

El tamaño máximo del árido grueso debe ser de 10 a 12,5 mm tamices (3/8" a 1/2"), si bien se han empleado con éxito gravillas de 20 milímetros. Tamaños mayores conducen a hormigones de adecuada docilidad, para su colocación en obra pero debilitan, por efecto pared, la interfaz árido-pasta. El coeficiente de forma debe ser lo más elevado posible, para hormigones de alta resistencia, el coeficiente de forma puede ser tan importante o más que la composición granulométrica del árido total, por ello, algunos autores consideran, como valor mínimo del coeficiente de forma 0,25 para áridos de tamaños 12,5 a 25 mm y, admiten hasta 0,15 para tamaños de 25 a 50 mm.

En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado, esto se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm, y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días. Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados. También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado. Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada y esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas.

Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

Según lo indicado con anterioridad el agregado ideal debe ser un canto rodado de río, por su mejor resistencia, limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas, con un excelente coeficiente de forma, así como un mínimo porcentaje de desgaste a la abrasión.

Agregado fino:

Para la producción de hormigones de alta resistencia son factores significativos tanto la forma del agregado fino como su granulometría. La forma de la partícula y la textura de su superficie pueden tener tanta influencia en la demanda de agua y en la resistencia a la compresión del hormigón, como la tiene el agregado grueso. El incremento del volumen relativo del agregado grueso con respecto al del material fino produce una reducción en la cantidad de pasta requerida por unidad de volumen de una mezcla de hormigón.

En los hormigones de alta resistencia, debido a la elevada demanda de material cementante, el volumen de materiales finos (partículas menores a 150 μm , tamiz ASTM N°100) tiende a ser alto. Por esto el volumen de la arena (agregado fino) debe mantenerse al mínimo necesario para lograr trabajabilidad y una buena compactación.

Para hormigones de resistencias de 70 MPa o mayores, es recomendable el empleo de agregados finos con un módulo de finura (MF) dentro del rango de 2.5 a 3.2. El uso de agregados finos con un MF menor que 2.5, genera hormigones viscosos, con baja trabajabilidad, con mayor demanda de agua y la consiguiente disminución de resistencia.

La mayoría de los autores recomiendan arena silíceo de río, con módulo de finura no inferior a 3,0 y exenta de finos, ya que las distintas dosis de cemento y las eventuales adiciones sustituyen eficazmente esa falta de finos.

Si se emplea un aditivo superfluidificante, como es casi obligatorio para conseguir un hormigón de alta resistencia, la cantidad de árido fino más conveniente se sitúa

en torno al 60 y 70% de la de árido grueso (ver ensayo de densidad óptima de la mezcla de agregados).¹⁷

La mezcla de arenas naturales de diferentes fuentes permite optimizar su granulometría y conseguir incrementos de resistencia. En las arenas manufacturadas producidas por trituración, la forma de sus partículas y el incremento del área superficial pueden afectar en forma apreciable la demanda de agua, con la correspondiente pérdida de resistencia. Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en los hormigones de alta resistencia (HAR).

Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en los HAR, más que por el acomodamiento físico.

Funciones de los agregados en el hormigón:

- a. Como esqueleto rígido y estable adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- b. Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es “áspero”, “pedregoso” y “poco dócil”.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para

¹⁷ <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/2-agua-y-aridos-para-hormigones-de-alta.html>

agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

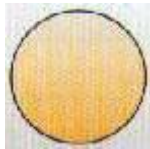
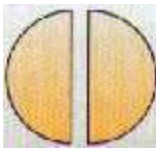
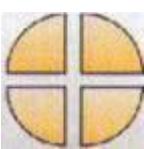
- 1): Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- 2): Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 3): Un tercio del peralte de las losas.

Una elección incorrecta, puede resultar en un concreto susceptible de producir segregación o alveolado debido a un exceso de agregado grueso o en un concreto de baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino.

Áridos de granulometría continua – mínimos vacíos

El mínimo de vacíos es lo ideal en los hormigones de alta resistencia para esto las granulometrías deben ser “continuas”, es decir que no debe faltar ningún tamaño intermedio de partícula. La pasta cementicia debe recubrir todas las partículas de agregado para “lubricarlas” cuando el concreto está fresco y para unir las cuando el concreto está endurecido. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie de los agregados mayor será la cantidad de pasta necesaria. El tamaño máximo debe ser el mayor posible, esto es el máximo compatible con la estructura.

Figura 7 Partículas de agregados que ocupan el mismo volumen, pero con mayor requerimiento de pasta cementante

		
Partícula de agregado	al dividirla en dos, aparecen nuevas superficies a cubrir con pasta	al dividir nuevamente en mitades aumentan las superficies a recubrir

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados2.shtml>

Contenido De Finos

El contenido de finos o polvo no se refiere al contenido de arena fina ni a la cantidad de piedras de tamaño menor, sino a la suciedad que presentan los agregados (tamaños inferiores a 0,075 mm o lo que es lo mismo, polvos pasantes el tamiz N° 200).

El contenido de finos es importante por dos aspectos:

- A mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua/cemento;
- Si el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interfase mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del concreto.

Es difícil de apreciar a simple vista si las arenas tienen finos, pero se puede evaluar cualitativamente de las siguientes maneras:

- Observando los acopios, pueden notarse en su superficie costras duras originadas por el desecamiento de estos finos.
- Haciendo una simple prueba consiste en colocar un poco de arena en un recipiente traslúcido con agua, agitar enérgicamente y dejar reposar un par de minutos. Si la arena está sucia se diferenciará claramente en el fondo del recipiente el depósito de arena y sobre éste, el de material fino.

a. Reacción Álcali-Sílice

Los álcalis en el cemento están constituidos por los óxido de sodio y de potasio, los cuales en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6%, temperaturas ambientes de 30°C, humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción, la adición de puzolanas contrarresta en mucho este efecto.

b. Reacción Alcali-carbonatos

Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas.

2.2.3 El Agua

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno H_2O ¹⁸. Es conocida como el disolvente universal, puesto que tiene la propiedad de combinarse químicamente con muchos componentes para formar ácidos, sales tales como: sulfatos, cloruros, bicarbonatos, etc., y por ello, en la fabricación de hormigón, no es de sorprenderse si tiene la facultad de reaccionar químicamente con el cemento hidráulico para formar la pasta que es el medio de unión con los agregados.

Estas reacciones químicas entre el agua y el cemento terminan entregando al hormigón sus propiedades de fraguado y endurecimiento.

El agua en el caso del hormigón se clasifica en:¹⁹

Agua de Mezclado

Es la cantidad de agua que requiere el hormigón por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la obra en el estado fresco.

Agua de Curado

Es la cantidad de agua adicional que requiere el hormigón una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversos factores ambientales tales como: altas temperaturas, alta absorción, vientos que incrementan la velocidad de evaporación, etc.

En la actualidad existen productos que minimizan la pérdida superficial del agua, tales como aditivos que se añaden al hormigón en estado fresco, o resinas o pinturas que recubren al hormigón una vez que haya endurecido.

¹⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

¹⁹ (OSORIO, 2014)

Es fundamental el control de la adición del agua a la mezcla durante su preparación y colocación (control relación agua/material cementante y curado), siendo este el principal parámetro que determina la resistencia final del hormigón.

En el Ecuador el agua para la fabricación de hormigón de cemento hidráulico debe cumplir los requisitos de la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2617 Hormigón de Cemento Hidráulico, Agua para mezcla, Requisitos, 2012), pero como regla general se puede utilizar casi cualquier agua que se pueda beber (agua potable), que no tenga un sabor u olor marcado, siempre que sea posible, debe evitarse el agua con concentraciones de sólidos disueltos e impurezas. Estos sólidos disueltos e impurezas excesivas pueden afectar no solo el tiempo de fraguado, la resistencia del hormigón y la estabilidad volumétrica (variación dimensional), sino que también puede provocar eflorescencia o en el caso de la fabricación de hormigón armado la corrosión del acero de refuerzo.

Las sales u otras sustancias nocivas que provengan del agregado o de los aditivos deben sumarse a la cantidad que puede contener el agua de mezclado. Tanto para el amasado como para el curado del hormigón es prohibitivo utilizar aguas de mar o aguas salinas.

2.2.4 Aditivos²⁰

Los componentes básicos de hormigón son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración puede ser considerado como un aditivo, sin embargo, en la práctica no se consideran aditivos a las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento portland puzolánico (tipo IP), o portland con escoria de altos hornos (tipo IS), se les denomina (adiciones de proceso). Con estas excepciones la definición brindada por el comité ACI 116 R adquiere validez: “un aditivo es un material diferente al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo, que se emplean como un ingrediente del concreto o mortero y se agrega a la mezcla inmediatamente antes, durante o después de su mezclado”. Un material solo puede considerarse aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir se puede ejercer total

²⁰ <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8650/Capitulo4.pdf>

control sobre su dosificación, de esta manera las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento portland.

Para conceptualizar de forma más integral este término, se presenta esta definición:

Aditivo es todo agente externo que se coloca en pequeñas proporciones en el hormigón para modificar sus propiedades originales, su objetivo principal es mejorar la calidad del mismo, u otorgarle características específicas sean estas mecánicas, físicas o químicas, son empleados para prevenir los daños y vencer difíciles situaciones a las que puede estar sometido el hormigón, desde el mismo instante de su fabricación, hasta el momento de su transporte y colocación en la obra: exposición a salinidad constante, corrientes sulfatadas, contacto con aguas negras o residuales, o materiales especiales, vaciados (colados) en clima caliente o frío, los requisitos del bombeado, los requerimientos de resistencias tempranas o las especificaciones de una relación agua/cemento muy baja, etc. Para ello los aditivos nos permiten controlar algunas propiedades del hormigón, entre las principales se encuentran:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

Tabla 5 Tipos y Clasificación de los Aditivos y sus efectos en el hormigón

TIPO DE ADITIVO	EFFECTO DESEADO EN EL CONCRETO
Acelerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleran el desarrollo de resistencia
Inclusores de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Usualmente mejoran la trabajabilidad • Disminuyen el sangrado • Inducen el control de los efectos por congelamiento y deshielo
Reductores de agua y controladores de fraguado	
(A) Reductores de agua simple	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el contenido de agua
(B) Retardantes	<ul style="list-style-type: none"> • Inducen un retardo controlado sobre el tiempo de fraguado
(C) Retardante y reductor de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Induce retardo en el tiempo de fraguado del agua • Reducción en el contenido de agua
(D) Acelerante y reductor de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Acelera el desarrollo de resistencia • Reducción en el contenido de agua
(E) Reductor de agua de alto rango (plastificante)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce radicalmente el contenido de agua • Puede incrementar el revenimiento sin incremento del agua • Incrementa la fluidez de la mezcla
(F) Reductor de agua de alto rango y retardante	<ul style="list-style-type: none"> • Marcada reducción del contenido de agua • Incrementa la fluidez de la mezcla
Minerales finamente divididos	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la resistencia contra el ataque de los sulfatos • Reduce la permeabilidad • En algunos casos controla la reacción álcali-agregado • Disminuye los efectos por lixiviación • Producen disminución del calor de hidratación
Diversos	
Formadores de gas	<ul style="list-style-type: none"> • Para producir concretos celulares
Para mezclas de inyección	<ul style="list-style-type: none"> • Induce estabilidad, reduce la contracción de la mezcla
Para control de expansión	<ul style="list-style-type: none"> • Regula la expansión
Adhesivos integrales	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentan la adherencia de concreto nuevo con Concreto endurecido
Auxiliares de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la cohesión y viscosidad de la mezcla
Repelentes de humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la velocidad de penetración del agua en el concreto
Reductores de permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la permeabilidad
Inhibidores de reacción tipo de álcali-agregado	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen las expansiones causadas por esta reacción
Inhibidores de la corrosión	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la permeabilidad del concreto del acero

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8650/Capitulo4.pdf>

2.2.4.1 Aditivos Minerales ²¹

Son materiales de origen natural mineral finamente pulverizados o manufacturados, y se clasifican en cuatro tipos:

- a) Los materiales cementantes
- b) Los materiales puzolánicos
- c) Los materiales que tienen propiedades tanto cementantes como puzolánicas
- d) Otros

Los materiales finamente divididos que se analizan en esta sección, no son ni agregados, ni cemento portland; por definición, son aditivos cuando se agregan a la mezcla de hormigón como componentes separados, ya sea antes o durante el mezclado, y son adiciones cuando se muelen o se mezclan con cemento portland para producir cementos hidráulicos mezclados.

Son polvos más finos que el cemento portland, que se pueden añadir a la mezcla como elemento adicional, sin alterar las proporciones relativas de los demás componentes, se emplean en mezclas deficientes en partículas muy finas, o cuando no se dispone de agregado fino de composición granulométrica adecuada, para poder elaborar hormigón con condiciones de trabajabilidad, fluidez, bombeabilidad y resistencia adecuadas. Contribuyen favorablemente al desarrollo de la resistencia de las mezclas cuando los contenidos de cemento requeridos para proporcionar la resistencia deseada son apreciablemente más elevados. En estas circunstancias, cuando el aditivo mineral finamente pulverizado es similar a los cementos en área superficial (finura), su empleo no debe incrementar los requisitos de agua, en relación con los de una mezcla similar con cemento adicional en vez de aditivo.

ADITIVOS CEMENTANTES

²¹ <http://boletin-iccy.com/files/files/Aditivos%20Minerales%20finamente%20divididos%20ARTICULO%20JUNIO%202012.pdf>

Entre los materiales cementantes se incluyen los cementos naturales, las cales hidráulicas, los cementos de escoria (mezclas de escoria de altos hornos y cal) y escoria granulada de altos hornos.

Escoria granulada de altos hornos y cementos de escoria

La escoria granulada de alto horno molida fabricada a partir de escoria de alto horno de hierro, es un producto no metálico que consiste principalmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y de otras bases que se desarrollan en la fundición simultáneamente con el hierro en los altos hornos. La escoria fundida a una temperatura de aproximadamente 1500 C, queda templada rápidamente al enfriarse por inmersión en agua y forma un material granular vítreo parecido a la arena. El material granular, el cual es molido a menos de 45 micras, tiene una finura Blaine de aproximadamente 400 a 600 m²/kg. Esta escoria molida áspera y angulosa al entrar en contacto con el agua y con un activador NaOH o CaOH, ambos facilitados por el cemento portland, se hidratan y fragua de manera similar al cemento portland. La escoria enfriada al aire no tiene las propiedades hidráulicas que tiene la escoria enfriada por agua. La especificación ASTM C 989 clasifica a la escoria según su reactividad con los grados 80, 100 o 120.

Cemento natural

El cemento natural se forma al calcinar calizas arcillosas justo debajo del punto de fusión; luego se muele el material hasta obtener un polvo muy fino.

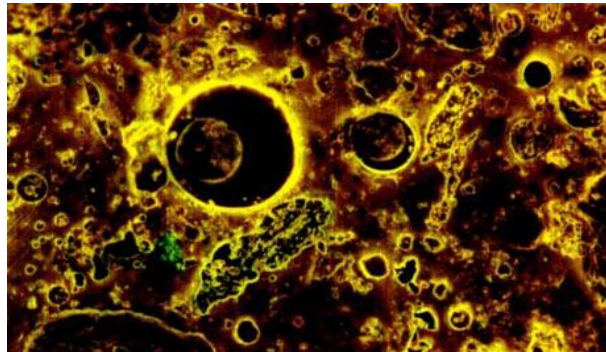
ADITIVOS PUZOLÁNICOS

La Puzolana²²

Se define como un material silíceo o sílico aluminoso que en sí mismo no posee valor cementante, pero que en una forma finamente dividida en presencia de humedad a temperaturas normales tiene reacciones químicas con la cal, por lo cual se forman compuestos estables con propiedades aglutinantes.

²² <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>

Figura 8 Puzolana natural de origen volcánico pumítico



Fuente: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>

Las puzolanas pueden clasificarse en:

- Puzolanas naturales:
 - Materias de origen volcánico
 - Materias sedimentarias de origen animal o vegetal.
- Puzolanas artificiales:
 - Materias tratadas (tratamiento térmico 600 y 900°C).
 - Subproductos de fabricación industrial
 - Cenizas volantes (fly ash)
 - Humo de sílice o microsílíce
 - Nanosílíce
 - Arcillas naturales (subproductos de la industria del ladrillo cocido)
 - Ceniza de cascarilla de arroz
 - Escorias granuladas de industrias metálicas no ferrosas

Propiedades físicas y químicas de las puzolanas

La actividad puzolánica se refiere a la cantidad máxima de hidróxido de calcio con la que la puzolana puede combinar y la velocidad con la cual ocurre esta reacción.

Puzolana + Cal + Agua → Silicatos y Aluminatos de Calcio hidratados

La actividad puzolánica depende: de la naturaleza y proporción de las fases activas presentes en la puzolana (composición mineralógica), de la relación cal – puzolana de la mezcla, de la finura (o superficie específica) de la puzolana y de la

temperatura de la reacción. Los productos de reacción puzolana/cal generalmente son del mismo tipo que los productos de hidratación del cemento portland: silicatos cálcicos hidratados (CSH), aluminatos cálcicos hidratados (CAH) y sílico - aluminatos cálcicos hidratados (CSAH).

Tabla 6 Ventajas de las Puzolanas en los Cementos Puzolánicos

A. En la resistencia mecánica A.1 A largo plazo, al prolongar el período de endurecimiento A.1.1 A tracción A.1.2 A compresión A.1.3 Mejor relación tracción - compresión	E. En la plasticidad D.1 Rebajando la relación a/c D.2 Reduciendo la segregación D.3 Evitando la exudación y el sangrado
B. En la estabilidad B.1 Frente a la expansión por cal libre B.2 Frente a la expansión por sulfatos B.3 Frente a la expansión por la reacción álcalis - agregado B.4 Frente a la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c B.5 Frente a la retracción térmica por enfriamiento B.6 Frente a la fisuración	F. En la impermeabilidad F.1 Reduciendo la porosidad F.2 Evitando la formación de eflorescencias F.3 Produciendo la mayor cantidad de Tobermorita
C. En la durabilidad C.1 Frente a ataques por agua puras y ácidas C.2 Frente a ataques por aguas y suelos sulfatados C.3 Frente a ataques por agua de mar C.4 Frente a ataques por gases de descomposición y fermentación de materias orgánicas C.5 Frente a la desintegración por la reacción álcalis - agregado	G. En la adherencia G.1 Del agregado a la pasta G.2 Del mortero a las armaduras
D. En el rendimiento y la economía D.1 Al corresponder a los cementos puzolánicos mayor volumen que a otros conglomerantes a igualdad de peso D.2 Al ser los cementos puzolánicos, en general, conglomerantes más baratos	H. En el comportamiento térmico H.1 Al liberar menor calor de hidratación H.2 Al producir menor elevación de temperatura

Fuente: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>

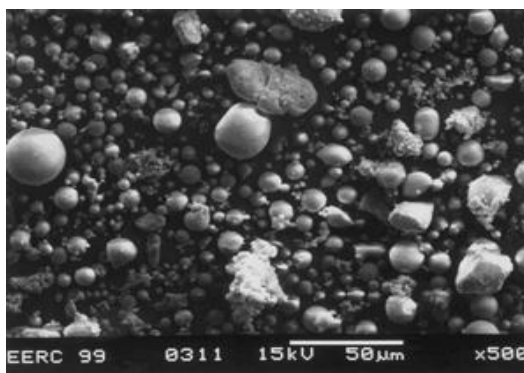
Ceniza Volante (fly ash)

Junto con la microsílice, es sin duda el aditivo mineral más ampliamente utilizado en el concreto, la ceniza volante, es un residuo finamente dividido (polvo que se

asemeja al cemento) que resulta de la combustión del carbón mineral, pulverizado en las plantas termoeléctricas. Con la ignición en el horno, la mayor parte de la materia volátil y de carbono existentes en el carbón mineral se calcina. Durante la combustión, las impurezas del carbón mineral (como la arcilla, el feldespato, cuarzo y la pizarra) se funden en suspensión, y son retiradas de la cámara de combustión por el gas de escape. Mientras transcurre el proceso, el material fundido se enfría y se solidifica formando partículas esféricas llamadas cenizas volantes.

Son polvos muy finos cuya superficie específica es del orden de 5000 cm²/g, algo superior a la del cemento que suele estar comprendida entre 2.500 a 4.000 cm²/g. Contienen óxido de silicio en proporción variable entre el 35 y el 60% y su actividad puzolánica es menor que la de la microsílice por su menor finura y menor contenido en óxido de silicio. Las cenizas volantes proporcionan a la masa del hormigón mayor plasticidad y menor calor de hidratación. Al sustituir parte del cemento por ceniza volante se reduce la demanda de agua de la masa, las resistencias disminuyen a cortas edades si bien aumentan a largo plazo. El empleo de cenizas no adecuadas puede ocasionar fenómenos expansivos en el hormigón

Figura 9 Micrografía (sem) de una ceniza volante tipo F



Fuente: <http://www.ecoingenieria.org/docs/Puzolanas.pdf>

Humo de sílice o Microsílice

El humo de sílice, al que también se le conoce como microsílice o humo de sílice condensado, es otro material que se emplea como aditivo puzolánico. Este

producto en forma de polvo de color gris claro a oscuro o en ocasiones gris azulado verdoso, es resultado de la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico durante la manufactura del silicio o de aleaciones de ferro silicio. El humo de sílice asciende como vapor oxidado de los hornos a 2000°C. Se enfría, se condensa y se recolecta en enormes bolsas de tela. Entonces se le procesa para retirarle las impurezas y para controlar su tamaño de partícula.

El humo de sílice condensado esencialmente consiste en dióxido de sílice (más de 90%) en forma no cristalina. Puesto que es un material susceptible de ser conducido por el aire como la ceniza volante, tiene forma esférica. Es extremadamente fino, con partículas con diámetros menores de una micra y con un diámetro promedio de aproximadamente 0.1 micra, casi 100 veces menor que las partículas promedio de cemento.

Figura 10 Microsílice



Fig. : Se muestra la microsilice
FUENTE: *Silica Fume User's Manual* 2005

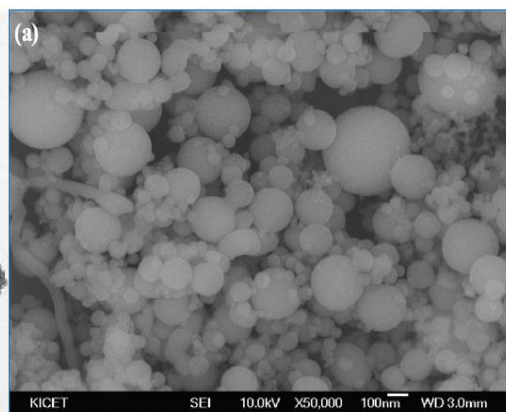


Fig. a : Se muestra escaneo electrónico de la microsilice
FUENTE: *Byung Wan Jo, et. al., 2007*

La acción de la microsilice sobre el hormigón es doble: por una parte, actúa como árido fino, mejorando la red capilar y disminuyendo el tamaño de los poros; por otra, dado su carácter puzolánico, se combina con la cal libre del cemento formando silicatos, es decir, nuevos compuestos resistentes, ya que mejora de forma importante propiedades como la impermeabilidad, compacidad, resistencia a la segregación y resistencia mecánica.

La microsílíce resulta prácticamente imprescindible si se desean resistencias mecánicas superiores a 65-70 MPa, cuya adición suele oscilar entre el 5% y el 10% sobre el peso de cemento, según sus fabricantes, aunque en casos aislados se pueden llegar a utilizar dosis de hasta el 20%.

Microsílíce en la investigación:

En esta investigación se utilizaron dos tipos de microsílíce, muy comerciales en nuestro país, la microsílíce Rheomac SF 100, de la empresa BASF, y la microsílíce Sikafume de la empresa SIKA, que se debe estudiar su comportamiento específico y cómo reacciona en la mezcla con respecto a los otros materiales componentes del hormigón.

Figura 11: Presentaciones comerciales de las microsílíces empleadas en la investigación



Fuente: <http://www.aditivosypisos.com/productos.html>; http://ecu.sika.com/es/solutions_products/productos-sika-construccion/reparacion-de-concreto/02a002sa13.html

La nanosílíce²³

Es sabido dentro de la física y la química que un nanomaterial correctamente diseñado y desarrollado produce resultados mejores y más económicos que los materiales tradicionales, gracias a la estabilización y refuerzo de propiedades de la materia a un nivel mil veces más pequeño que el antiguo nivel “micro”.

1 Micrómetro (um): $0.000001 \text{ m} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

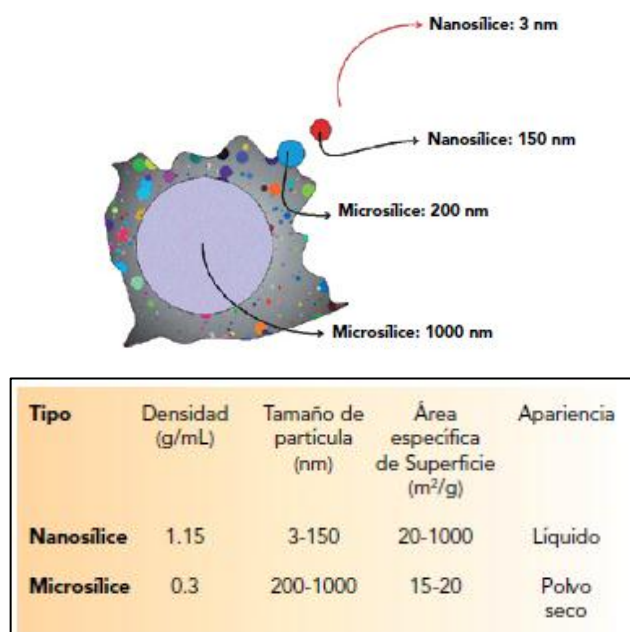
1 Nanómetro (nm): $0.000000001 \text{ m} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

²³ <http://www.silicon.ind.br/wp-content/uploads/press-release.pdf>

La nanosílice tiene la misma composición química que el cuarzo o que la microsílice, es decir se trata de SiO_2 . La principal diferencia con respecto al cuarzo es que éste es cristalino, mientras que la nanosílice es amorfa y, por tanto, reactiva, SiO_2 r.

Con respecto a la microsílice/humo de sílice, la principal diferencia es el muy inferior tamaño de partícula de la nanosílice. Así por ejemplo el tamaño típico de las partículas de microsílice está comprendido entre 200 y 1000 nm, mientras que el de la nanosílice lo está entre 3 y 150 nm.

Figura 12 Diferencias entre microsílice y nanosílice



Fuente: <http://www.imcyc.com/revistacyt/oct10/tecnologia.htm>

La combinación entre el estado amorfo y el tan pequeño tamaño de partícula de la nanosílice hace que este material se comporte como una adición al cemento extremadamente activa en la elaboración de pasta, mortero y hormigón.

La nanosílice reacciona rápidamente con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, produciendo compuestos mineralógicos similares a los que produce el propio cemento, más concretamente gel CSH (silicato cálcico hidratado).

A diferencia del gel CSH de origen cemento, el de origen nanosílice posee una baja densidad de defectos cristalinos, lo que posibilita según las teorías de

cristalización que crezcan nuevas cantidades de gel CSH sobre éste también con una baja densidad de defectos y, por ende, de propiedades mecánicas óptimas. La acción de la nanosílice se traduce en una mayor resistencia mecánica con menor porosidad y menor permeabilidad de la pasta de cemento, mortero u hormigón.

De este modo, el uso de la nanosílice estabilizada combinado al efecto superfluidificante y de modificación de la viscosidad, que aportan los polímeros avanzados, conduce a una gran disminución de la permeabilidad del hormigón, un gran aumento de la resistencia mecánica y, en definitiva, una mayor durabilidad frente a la carbonatación, al ataque por los iones sulfato o al ingreso de iones cloruro, entre otros. Confiriéndoles, además, una excepcional resistencia a la abrasión y a la erosión.

Es un aditivo reductor de agua de alta actividad que posee un elevado poder de fluidificación, aunque en función de su dosificación podría actuar como un reductor de media actividad. La nanosílice produce un incremento notable de la resistencia mecánica, sobre todo a edades muy tempranas, disminuyendo la permeabilidad y la porosidad del hormigón.

Este aditivo es ideal para todos los hormigones preparados en planta:

- Hormigón convencional
- Hormigón de Altas Prestaciones (HAP), entre ellos el de alta resistencia.
- Las aplicaciones tradicionales de microsílice.

Figura 13 Nanosílice



Fig. : Se muestra el estado de la nanosílice.
FUENTE: propia

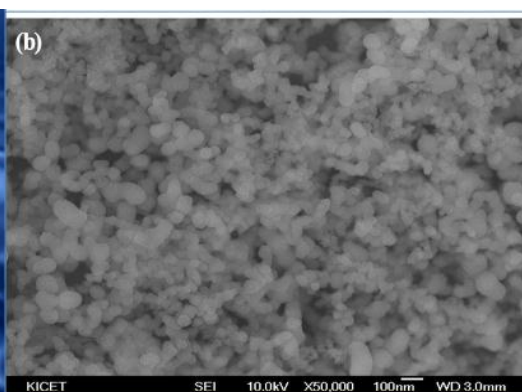


Fig. b: Se muestra escaneo electrónico de la nanosílice
FUENTE: Byung Wan Jo, et al, 2007

Tabla 7 Composición química del cemento portland, microsílíce y nanosílíce

Composición química, %			
Compuesto	Cemento Portland ordinario	Micro sílice	Nano-SiO ₂
SiO ₂	22.0	95.0	99.9
Al ₂ O ₃	6.6	0.9	-
Fe ₂ O ₃	2.8	0.6	-
CaO	60.1	0.3	-
MgO	3.3	0.9	-
SO ₃	2.1	0.5	-
Pérdida en ignición (LOI)	2.6	2.1	0.1
Propiedades físicas			
Gravedad específica	3.15	2.33	-
Tamaño promedio de partícula	13 µm	0.1 µm	40 nm
SSA, m ² /g	0.38	20	50

Fuente: Byung-Wan Jo, Chang.Hyun Kim and Jae-Hoon Lim, 2007

ADITIVOS CEMENTANTES - PUZOLÁNICOS

Ciertas cenizas volantes (normalmente producidas por la combustión de carbón sub-bituminoso o lignita) tienen características cementantes limitadas, pero también se combinan con la cal al igual que las puzolanas.

También algunas escorias granuladas de alto horno molidas exhiben propiedades tanto puzolánicas como cementantes. Las cenizas volantes ASTM C 618 Clase C con un contenido de óxido de calcio de aproximadamente 15 a 30% en peso son las predominantes dentro de esta clasificación. Al exponerse al agua, muchas de estas cenizas se hidratan y endurecen en menos de 45 minutos.

OTROS ADITIVOS MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS: NI CEMENTANTES, NI PUZOLÁNICOS

Los aditivos minerales que no son ni cementantes ni puzolánicos, se han considerado hace poco como relativamente inertes se emplean como adición al cemento y como una sustitución parcial de la arena en el concreto para mejorar las trabajabilidades pobres causadas frecuentemente por la falta de finos en la arena. A veces se agrega a las mezclas de hormigón la caliza pulverizada para reducir la reactividad álcali-sílice.

Entre estos aditivos se incluyen las arenas de cuarzo y las síliceas finamente divididas, el cuarzo en bruto finamente dividido (filler calizo), piedras de cal y calizas calcíticas y dolomíticas, mármol, granito y otros polvos de roca, desperdicios de crisotilo (asbesto), cal dolomítica hidratada o con elevado contenido de calcio, así como otros materiales. Algunos materiales que se presentan de manera natural requieren calcinación para desarrollar actividad puzolánica útil. Estos materiales frecuentemente se utilizan como aditivos en estado crudo, en aplicaciones en las que no se logra o no se espera actividad puzolánica.

Figura 14 Filler Calizo



Fuente: <http://imecosa.com/contenido/filler-calizo/>

Filler calizo:

El filler es un carbonato cálcico molido fabricado a partir de una caliza marmórea de gran pureza química, cuya gama comprende los tamaños máximos entre 45 y 300 micras (1 mm = 1000 micras)

Entre sus diversas aplicaciones podemos destacar:

- Polvo de aportación en mezclas bituminosas
- Aportación de finos en hormigones autocompactables.
- Hormigones de alta resistencia, porque los densifican eliminando los vacíos.

Corrección de finos en hormigones convencionales

- Aplicación en la industria de prefabricados
- Fabricación de morteros secos
- Aportación de filler en el proceso de fabricación de algunos cementos, etc.

2.2.4.2 Aditivos Químicos

Son sustancias químicas que se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado entre un 0,1 % y 5 % del peso del cemento, para una primera aproximación, su proporción de empleo debe establecerse de acuerdo a las especificaciones del fabricante, debiendo verificarse según los resultados obtenidos en obra o, preferentemente, mediante mezclas de prueba.

El aditivo empleado debe reaccionar correctamente en la mezcla, según el fin para el que se utilice; generalmente en el caso de hormigones de alta resistencia se desea que brinde a la mezcla una mejor trabajabilidad para su transporte y colocación en obra, por estar condicionados a una muy baja relación agua material-cementante (aditivos plastificantes o superplastificantes). Se deben realizar diferentes mezclas para evaluar el comportamiento del aditivo con relación a los otros materiales constitutivos del hormigón: tipo de cemento, y agregados, y verificar si no existen reacciones adversas.

De acuerdo con su función principal se clasifica a los aditivos para el hormigón de la siguiente manera:²⁴

²⁴ (Wikipedia, Aditivos para hormigón)

- Aditivo reductor de agua/plastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido de agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido de agua, aumenta el asiento en el cono de Abrams, el escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.
- Aditivo reductor de agua de alta actividad/aditivo superplastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia del hormigón, o que sin modificar el contenido de agua, aumenta considerablemente el asiento (cono de abrams)/ escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.
- Aditivo reductor de agua: Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.
- Aditivo inclusor de aire: Aditivo que permite incorporar durante el amasado una cantidad determinada de burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.
- Aditivo acelerador de fraguado: Aditivo que reduce el tiempo de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al rígido.
- Aditivo acelerador del endurecimiento: Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de resistencia iniciales del hormigón, con o sin modificación del tiempo de fraguado.
- Aditivo retardador de fraguado: Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.
- Aditivo hidrófugo de masa: Aditivo que reduce la absorción capilar del hormigón endurecido.
- Aditivo multifuncional: Aditivo que afecta a diversas propiedades del hormigón fresco y/o endurecido actuando sobre más de una de las funciones principales definidas en los aditivos mencionados anteriormente.

La norma ASTM C 494 “Chemical Admixtures for Concrete”, Aditivos Químicos Para Concreto; distingue siete tipos:

- TIPO A : Reductor de Agua
- TIPO B : Retardador de Fraguado

- TIPO C : Acelerador de Fraguado
- TIPO D : Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E : Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F : Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G : Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C260 “Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete”.

Los aditivos a pesar de que en la actualidad por su gran variedad han tenido una gran aceptación, se deben introducir cuidadosamente en las mezclas de hormigón; no es conveniente, a menos que se haya investigado, la utilización de varios aditivos en la misma mezcla para modificar diferentes propiedades del hormigón, puesto que internamente se presentan reacciones químicas muy complejas, que necesitan ser estudiadas a fondo para conocer exactamente su influencia en cada propiedad tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Aditivo en nuestra investigación ²⁵

En la presente investigación se utilizó el aditivo superfluidificante, reductor de agua de alto rango Glenium 3000 NS, fabricado en base a la tecnología del policarboxilato, es muy efectivo produciendo hormigón con diferentes niveles de trabajabilidad, idóneo para hormigones de alta resistencia incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto autocompactante. Cumple la norma ASTM C 494 para requerimientos Tipo A, reductores de agua, y Tipo F, aditivos reductores de agua de alto rango.

²⁵ <http://www.basf-cc.com.ve/es/productos/AditivosConcretoyMortero/LineaGlenium/GLENIUM3000NS/Documents/glenium3000ns-ve.pdf>

Figura 15 Presentación Comercial aditivo Glenium 3000 NS



Fotografía: MOYANO, J., Diciembre / 2013

Cómo funciona el aditivo Glenium 3000 NS²⁶

Los superfluidificantes a base de la tecnología de policarboxilatos provocan una gran dispersión de las partículas de cemento, impidiendo la floculación de las mismas, con lo que se reduce mucho el agua intersticial y se consigue mejorar considerablemente la hidratación del conglomerante. Se logra así aumentar la plasticidad de la masa con relaciones agua/cemento muy bajas, lo que conduce a obtener hormigones muy trabajables, muy poco porosos y de alta resistencia.

Los policarboxilatos son cadenas de polímeros acrílicos cuyas moléculas tienen una compleja forma tridimensional lo cual, sumado a su composición química generan una acción dispersante de triple efecto: eléctrica, por absorción y por repulsión estérica.

Los policarboxilatos se basan en copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico. Crean una capa de absorción de gran volumen alrededor de las partículas de cemento que demoran momentáneamente la formación de etringita en la superficie de dichas partículas y, además, debido a sus largas cadenas laterales impiden la floculación y reduce mucho el agua intersticial, mejorando la hidratación del conglomerante, facilitando la alta fluidez de la pasta de cemento y de mortero.

²⁶ <http://arci53.blogspot.com/2010/11/hiperfluidificantes-base-de.html>

Los aditivos base policarboxilatos brindan al concreto un gran comportamiento en estado fresco combinado con sobresalientes resultados en estado endurecido (alta reducción de agua; elevada trabajabilidad extendida; mejor comportamiento reológico del concreto en estado fresco; posibilidad de combinar efectos; elevadas resistencias tempranas; altas resistencias finales; baja permeabilidad; bajísimas relaciones agua/cemento y alta relación desempeño/ costo. Las ventajas técnicas de estos aditivos son extraordinarias para cualquier concreto. Sin embargo, paralelamente se está frente a un aditivo de los denominados sensibles; es decir, afectado por los cambios externos, como: las características del cemento, finura y cantidad de arena, temperatura del concreto, cantidad de agua, variaciones en la dosificación, secuencia de mezclado, etc.

Recomendado para:

Concreto con características de fraguado rápido, mejor apariencia superficial y desarrollo de resistencias acelerado, concreto donde el control de trabajabilidad y el tiempo de fraguado son críticos, donde sea necesaria una reducción de agua de alto rango (12 a 40%), donde se requieran altas resistencias tempranas y últimas y un incremento en la durabilidad, concreto autocompactante

Características / Beneficios:

- Reducción de agua lineal dentro del rango de dosificación recomendado
- Produce una mezcla de concreto cohesiva que no segrega
- Tiempos de fraguado y desarrollo de resistencias más rápidos
- Incremento en el desarrollo de resistencias a compresión y a flexión a todas las edades.
- Resulta en menores costos de producción debido al rápido vaciado, mejor acabado, y reducción de costos de curado .

Cantidad a usar

El rango de dosificación recomendada del aditivo reductor de agua de alto rango Glenium 3000 NS es de 260 a 780 ml por 100 kg de cemento en hormigones convencionales, en la mayoría de las mezclas que utilizan microsílíce se pueden requerir dosificaciones fuera del rango recomendado.

2.3 Propiedades Físicas y mecánicas del hormigón fresco²⁷

Se considera que un hormigón se encuentra en estado fresco dentro del período desde cuando es amasado hasta cuando se inicia el proceso de fraguado, a este período se conoce con el nombre de tiempo abierto, pues en este tiempo se puede manipular el hormigón sin merma de sus características.

A continuación se presentan las propiedades del hormigón en estado fresco:

Figura 16 Propiedades del Hormigón Fresco



Elaborado por: MOYANO, J., Diciembre del 2013

Consistencia

La consistencia es facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Antes de la puesta en obra dependiendo de los métodos de compactación de los que se dispone, se elige la consistencia más adecuada para el hormigón.

Factores que influyen:

- La cantidad de agua de amasado
- El tamaño máximo del árido

²⁷ (CONRADO & ROJAS, 2012)

- La forma de los áridos y su granulometría.

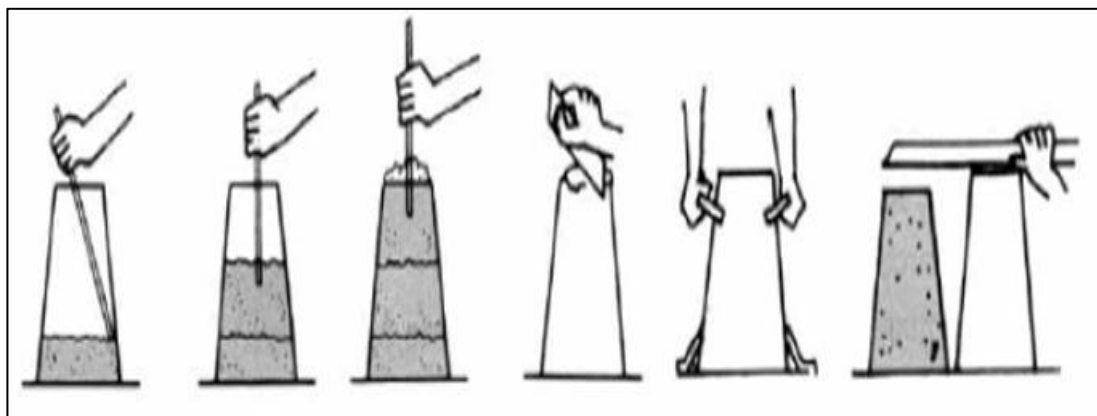
Determinación del asentamiento en el cono de Abrams

Referirse a la NTE INEN 1578: Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación del Asentamiento.

La determinación del asentamiento de la mezcla es el ensayo más empleado para definir la consistencia de un hormigón, es muy sencillo de realizarlo en la obra o laboratorio para el cual no se necesita un equipo costoso ni personal especializado, permite detectar fácilmente los cambios entre diferentes muestras del hormigón vaciado, sean estos debido a variaciones en el agua de amasado, diferente humedad de los áridos e incluso cambios de la granulometría de estos.

Consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura y de 10 hasta 20 cm de diámetro (ver Figura 17) y compactar con una varilla de compactación en 3 capas de aproximadamente $\frac{1}{3}$ del volumen del cono, dando a cada una 25 golpes. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia, y se conoce como el asentamiento ver Tabla 8.

Figura 17 Procedimiento de medición del asentamiento de una mezcla de hormigón



Fuente: ²⁸

Tabla 8 Consistencia de los hormigones frescos

²⁸ <http://1.bp.blogspot.com/-Dq2r3-pTdzQ/TY-Keem-F4I/AAAAAAAAABw/abgdIHVnqRw/s1600/Imagen1.png>

Consistencia	Asentamiento en el cono de Abrams (cm)	Método de Compactación
Seca	0-2	Vibrado
Plástica	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Picado con barra
Fluida	10-15	Picado con barra
Líquida	16-20	Picado con barra

Fuente: Adaptado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n>

Trabajabilidad o docilidad

La trabajabilidad de una mezcla de hormigón puede definirse como la facilidad con la que esta puede mezclarse, manejarse, transportarse y vaciarse en su posición final, sin segregación. La trabajabilidad está relacionada con la consistencia, con la homogeneidad, con la trabazón de sus distintos componentes y con la mayor o menor facilidad que la masa presente para eliminar los huecos de la misma, alcanzando una compacidad máxima.

Factores que influyen:

- La cantidad de agua de amasado, cuanto mayor sea ésta mayor será la docilidad.
- La docilidad es mayor con áridos redondeados que con áridos procedentes de machaqueo chancados.
- De la granulometría de los áridos, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor. Pero por otra parte, a mayor cantidad de árido fino corresponde mayor cantidad de agua de amasado necesaria y, por tanto, menor resistencia.
- La docilidad aumenta con el contenido en cemento y con la finura del mismo.
- El empleo de un plastificante aumenta la docilidad del hormigón a igualdad de las restantes características.

Es relevante indicar que para valorar la trabajabilidad se determina la consistencia con el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams, mientras mayor sea el asentamiento mayor será la trabajabilidad de la mezcla, de igual manera cuanto menor sea el asentamiento la mezcla será menos dócil o trabajable²⁹.

Según la normativa guía (ACI 211.4R-93, Guide for Selecting Proportions for High-Strength with Portland Cement and Fly Ash, 1998), para hormigones de alta resistencia, de forma general, el asentamiento debe ser el más bajo posible que permita que la mezcla pueda ser correctamente manejada y consolidada en la obra. Un asentamiento de 2 a 4 pulgadas (5 a 10 cm) proporciona la trabajabilidad requerida para la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, el espaciamiento del refuerzo y detalles de las formas estructurales deben considerarse antes del desarrollo de las mezclas de hormigón de alta resistencia.

Debido a un alto contenido de agregado grueso, de materiales cementantes y la baja relación agua-materiales cementantes $w/(c + p)$, el hormigón de alta resistencia puede ser difícil de colocar. Sin embargo, con la ayuda de un aditivo reductor de agua de alto rango o superplastificante (high range water restrainer) “HRWR” en sus siglas en inglés, se puede colocar el hormigón de alta resistencia en la obra sin problemas de segregación.

Homogeneidad

“Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la misma resulten prácticamente iguales.” (JÍMENEZ MONTAÑA, 2001, pág. 77).

Para tener una adecuada homogeneidad del hormigón se debe realizar un correcto amasado mezclado así como la labor de transporte y colocación en la obra debe ser bien ejecutada, puesto que si no se toma las precauciones necesarias se puede provocar que el hormigón sea radicalmente heterogéneo, entre distintos puntos de la obra.

²⁹ Adaptado de (CONRADO & ROJAS, 2012, págs. 7,8).

En hormigones de alta resistencia, la colocación de los materiales en la mezcladora debe ser el ideal para lograr un correcto amasado, y de forma consecuente provocar que la mezcla sea lo más uniforme u homogénea posible.

Se puede perder homogeneidad por dos razones:

- Segregación. Separación de los gruesos y de los finos.
- Decantación. Cuando los agregados gruesos van al fondo quedando de esta manera en la parte superior el mortero.

El efecto de estos dos fenómenos aumenta con el contenido de agua, con el tamaño máximo del árido, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la colocación en obra en caída libre provocando un elemento estructural no solidario entre sus partes, situación no aceptable dentro de los estándares de la construcción.³⁰

Masa Específica

Es la relación entre la masa del hormigón fresco y el volumen ocupado. Puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar. Se mide en kg/m³, es un dato de gran importancia como indicativo de uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra. La densidad del hormigón fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado, su variación puede indicar:

- Alteración de la granulometría de los áridos.
- Diferente contenido de cemento.
- Distintas características del agua de amasado.³¹

Exudación del Agua De Amasado

³⁰ Adaptado de (CONRADO & ROJAS, 2012, págs. 7,8)

³¹ Adaptado de (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 10)

Debido a que el hormigón está constituido por materiales de distinta densidad real, tiende a producirse la decantación de los de mayor peso unitario, que son los sólidos, y el ascenso del más liviano, que es el agua. Este proceso induce una serie de efectos internos y externos en el hormigón:

- La película superficial del hormigón presenta un contenido de agua mayor que el resto de la masa, ello significa un aumento de la relación agua / material cementante, con una consiguiente menor resistencia para dicha capa; en las obras de hormigón sometidas a desgaste superficial y en los hormigones utilizados como material de relleno bajo elementos cuyo fondo es horizontal, por ejemplo placas de fundación.
- El ascenso del agua da origen a conductos capilares, que constituyen posteriormente vías permeables, afectando en consecuencia la impermeabilidad del hormigón. El agua ascendente tiende, además, a acumularse bajo las partículas de mayor tamaño, dejando bajo éstas un espacio vacío, al evaporarse posteriormente. Este proceso debe ser especialmente considerado en las obras hidráulicas y en las fundadas en terrenos húmedos.
- La exudación va acompañada por una sedimentación de los materiales sólidos, los que tienden a descender. Este descenso puede significar concentraciones de tensiones internas en los puntos donde la estructura presenta singularidades de forma, por ejemplo, variaciones de espesor o de nivel, debido al desigual descenso que se produce a ambos lados de la singularidad. Este efecto debe ser especialmente considerado en las obras de edificación, en los puntos de unión de los pilares y muros de hormigón con las cadenas, losas y vigas, en donde el mayor descenso que experimentan los primeros puede inducir grietas en las zonas de encuentro con los segundos.

Dado que la exudación produce efectos desfavorables, debe ser combatida, para lo cual puede recurrirse a las siguientes medidas paliativas:

- Utilizar un contenido adecuado de granos muy finos en el hormigón, entendiéndose como tales los que tienen un tamaño inferior a 150 micrones.
- Recurrir al empleo de aire incorporado en el hormigón, utilizando aditivos apropiados para este objeto.
- Aumentar el tiempo de amasado del hormigón, con el objeto de facilitar el adecuado humedecimiento de los materiales sólidos por el agua y con ello su retención por parte de éstos.
- Efectuar el hormigonado de las partes que presenten variaciones de espesor en distintas etapas constructivas, o, al menos, dejar transcurrir un tiempo de espera para permitir el asentamiento de la zona de mayor espesor. Este tiempo de espera debe ser el máximo posible, pero evitando el endurecimiento del hormigón³².

Cohesividad

Es propiedad por la cual es posible controlar la posibilidad de segregación durante la etapa de manejo de la mezcla, al mismo tiempo que contribuye a prevenir la aspereza de la misma, y facilitar su manipulación durante el proceso de compactación.

El grado apropiado de la cohesividad del hormigón es considerado cuando la mezcla no es demasiado plástica ni demasiado viscosa y su importancia varía con las condiciones de colocación.

Es muy importante la cohesividad; cuando es necesario transportar el hormigón a gran distancia, o hacerlo circular por canaletas o verterlo a través de la malla de acero de refuerzo.

Factores que influyen en la cohesividad:

- En una pasta de cemento-agua, la cohesividad se incrementa cuando la relación agua-cemento alcanza valores distintos para luego empezar a disminuir

³² <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/exudacionT7.htm>

- La cohesividad se incrementa con aumentos en la fineza de las partículas de la mezcla.

Segregación

Es la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes, cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

La segregación hace que el concreto sea: más débil, menos durable, y dejará un pobre acabado de superficie. La segregación produce que disminuya la resistencia y la durabilidad del concreto. Puede producir fisuramiento y agujeros, afectando la resistencia y el acabado de un elemento estructural.³³

Fraguado Falso

También conocido como endurecimiento prematuro, es un endurecimiento inicial de la pasta de cemento o del hormigón fresco que a veces se presenta entre 1 y 5 minutos después del mezclado. Este problema se puede eliminar o modificar sin la pérdida de calidad, con el mezclado continuo o por el remezclado.

Factores que influyen en el fraguado falso:

- Variaciones en el cemento
- Temperatura de la mezcla
- Temperatura ambiental
- Dimensiones del elemento a hormigonar
- Aditivos empleados
- La presencia de sólidos disueltos o sustancias en el agua de mezclado³⁴

2.4 Propiedades Físicas y mecánicas del hormigón endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final del fraguado.

El hormigón endurecido se compone del agregado, la pasta de cemento endurecida (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del

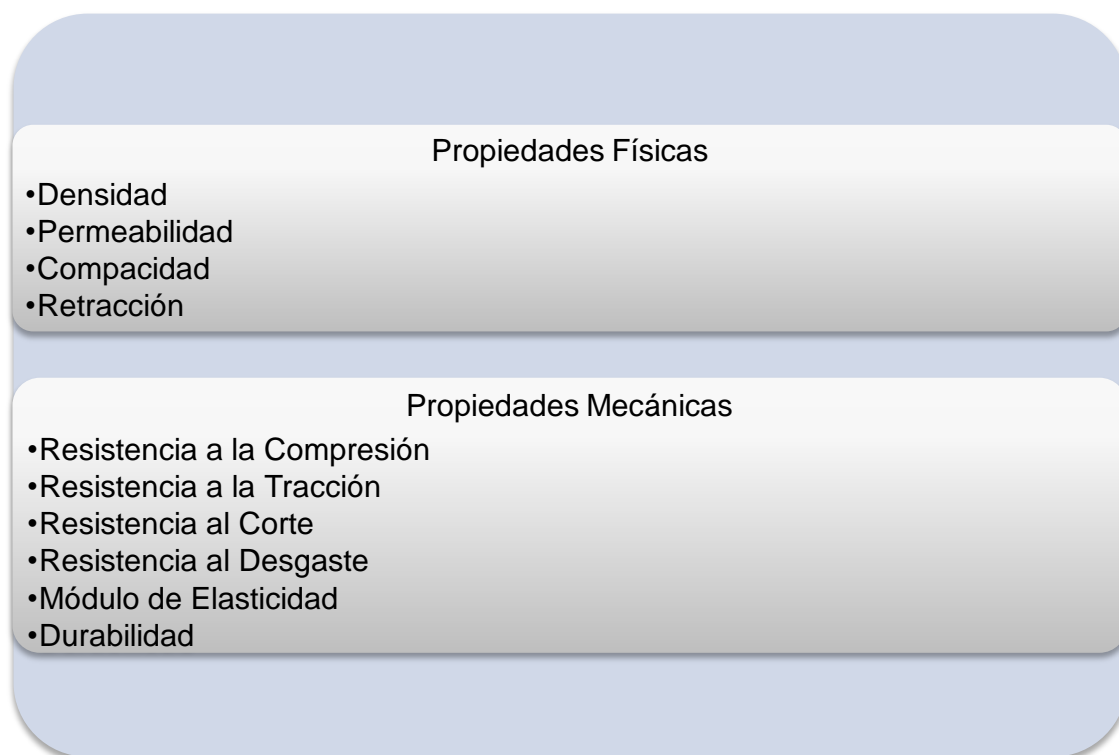
³³ <http://www.slideshare.net/deyvis120/propiedades-del-estado-fresco>

³⁴ Adaptado de <http://www.slideshare.net/deyvis120/propiedades-del-estado-fresco>

cemento) y la red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo).

A continuación se presentan las principales propiedades del hormigón endurecido.

Figura 18 Propiedades del Hormigón Endurecido



La densidad³⁵

Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado.

Factores que influyen:

- La naturaleza de los agregados finos y gruesos.
- La granulometría de los agregados.
- El método de compactación utilizado.

³⁵ Adaptado de (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 13)

Hormigones ligeros: 200 - 1500 kg/m³.

Hormigones ordinarios:

- Apisonados: 2000 a 2200 kg/ m³.
- Vibrados: 2300 a 2400 kg/ m³.
- Centrifugados: 2400 a 2500 kg/ m³.
- Proyectados 2500 a 2600 kg/ m³.

Hormigones pesados: 3000 – 4000 kg/ m³.

Permeabilidad

Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases.

El agua puede penetrar en el hormigón sea por presión (depósitos, conducciones, etc.), sea por capilaridad (contacto con medio húmedo). Cuando un hormigón ha sido correctamente dosificado, confeccionado y colocado, resulta en general impermeable por sí mismo, tanto más, cuanto menor sea su red capilar (red de canales o poros microscópicos), es decir, cuanto mayor sea su compacidad.

La red capilar se forma por evaporación del agua de amasado en exceso sobre la estrictamente necesaria para hidratar el material cementante. Este exceso es siempre necesario para poder manejar y colocar el hormigón, debiendo ser, el menor posible.

Factores que influyen:

La red capilar será mayor, por tanto la permeabilidad del hormigón aumentará cuando:

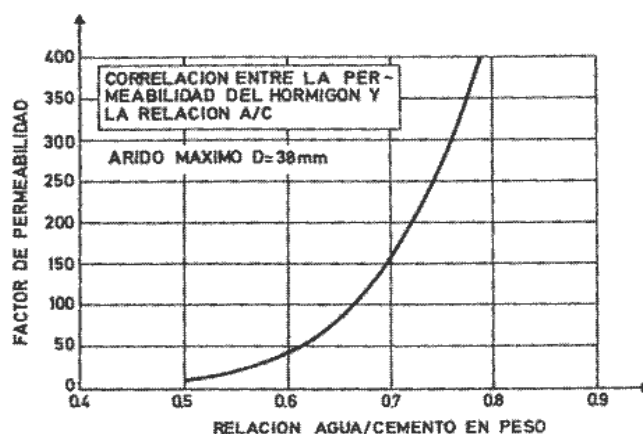
- Mayor sea la relación agua/material cementante; $w/(c + p)$
- Menos finamente molido esté el cemento;
- Peor sea la composición granulométrica del hormigón;
- Más corto sea el curado.

Pueden emplearse impermeabilizantes de masa que, al cerrar los poros y capilares, mejoran la compacidad del conjunto. Pero es evidente que su efecto será nulo si tales poros y capilares no son relativamente pequeños, es decir, si el hormigón está mal dosificado o ejecutado. No se puede impermeabilizar un hormigón malo.

En la siguiente

Figura 19 puede apreciarse la correlación existente entre la permeabilidad del hormigón y la relación agua/cemento, de la que se deduce que cuando se quieran conseguir hormigones impermeables, será necesario emplear una relación agua/cemento lo más baja posible.

Figura 19 Influencia de la relación $w/(c+p)$ en la permeabilidad



Fuente: ³⁶

Entre los productos de partida utilizados como impermeabilizantes de masa pueden mencionarse las materias finas (kieselguhr, bentonitas, caliza o puzolana molida, etc.), las sales de ácidos grasos (estearatos, oleatos, etc.) y los plastificantes en general. Los impermeabilizantes aumentan, por regla general, la retracción y pueden disminuir las resistencias si poseen efecto aireante.

Aparte de los impermeabilizantes de masa o hidrófugos, existen impermeabilizantes de superficie, que se aplican sobre la superficie del hormigón endurecido y actúan tan sólo sobre un pequeño espesor del mismo. De ellos existen en el comercio una extensa gama (resinas, siliconas, aceites y jabones, etc.) de gran número de aplicaciones. ³⁷

³⁶ http://4.bp.blogspot.com/-y9w23k_mAuc/TaOeV5o193I/AAAAAAAAAIk/btXtf9Thg9o/s1600/5.gif

³⁷ <http://notasdehormigonarmado.blogspot.com/2011/04/impermeabilizantes-de-masa-en.html>

Compacidad:

Es la cantidad de material sólido contenida en el volumen de hormigón, no se tiene en cuenta el aire atrapado. Matemáticamente es la relación por cociente entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente del hormigón.

$$C = \frac{V_r}{V_a} = 1 - \frac{a}{100} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

V_r = Volumen real de los componentes del hormigón.

V_a = Volumen aparente del hormigón.

a = Cantidad de agua.

La compacidad incide directamente en:

- La resistencia.
- La durabilidad.
- La impermeabilidad.³⁸

Retracción

Es la reducción del volumen del hormigón durante el proceso de fraguado y endurecimiento del mismo, y se produce por la pérdida paulatina de agua en el hormigón, esto genera tensiones internas de tracción que dan lugar a las fisuras que incluso pueden llegar a convertirse en grietas (ver Figura 20 Las Torres Petronas

Figura 1). La simplificamos en los cinco estados que se indican a continuación:

- EL agua combinada químicamente o de cristalización
- El agua de gel.
- El agua zeolítica o intercrystalina.
- El agua adsorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento que une los granos de áridos.
- El agua capilar o libre.

³⁸ (CONRADO & ROJAS, 2012, págs. 14,15)

De estos estados, el agua capilar y parte de la adsorbida pueden evaporarse a la temperatura ordinaria. Si el hormigón no está en un ambiente permanentemente húmedo, va perdiendo el agua capilar, lo que no produce cambios de volumen, y parte del agua adsorbida (e incluso, según algunos autores, de la zeolítica), lo cual origina una contracción de meniscos que obliga a que los granos de árido se aproximen entre sí. Esta es la causa de la retracción.³⁹

Figura 20 Grieta producida por la retracción del hormigón.



Fuente:⁴⁰

Factores que influyen a la retracción:

- Humedad del ambiente
- Tipo, clases y categoría del cemento, influyen en dar más retracción los más resistentes y rápidos.
- A mayor finura del cemento corresponde una mayor retracción.
- La presencia de finos en el hormigón aumenta la retracción.
- La cantidad de agua de amasado está en relación directa con la retracción, por ello a igualdad de cantidad de cemento por m³ de hormigón, la retracción aumenta con la relación agua/cemento.
- La retracción aumenta cuando disminuye el espesor del elemento en contacto con el medio ambiente.
- El hormigón armado retrae menos que el hormigón en masa, ya que el acero se opone al acortamiento y lo disminuye.

Dureza:

³⁹ <http://civilgeeks.com/2011/02/20/agrietamiento-por-contraccion-plastica/>

⁴⁰ <http://www.bhetta.com/Patologias/patologiafisurahormigon.html?set=a.531580566932041.1073741840.287811101308990&type=1>

Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smichtd.

La resistencia a la compresión:

Es una de las propiedades que se requiere del hormigón endurecido el mayor número de obras, pero no siempre es la más importante, frecuentemente es prioritaria la resistencia a los agentes agresivos como las aguas saladas, sulfatas, desgaste por rozamiento, cavitación, estabilidad de volumen, granulados reactivos, etc, en otras palabras la durabilidad del hormigón. Pero la resistencia a la compresión es la más fácil de obtener, también la más económica entonces, se ha generalizado su empleo para medir la calidad del hormigón⁴¹. Es la capacidad de soportar los esfuerzos axiales de compresión de cilindros estándar, medida comúnmente a los 28 días de edad, pero para hormigones de alta resistencia puede incrementarse a 56 días, 90 días o más.

⁴¹ (Dosificación de Mezclas; CAMANIERO, 2006, pág. 4)

Tabla 9 (Extracto de ACI 214): Fuentes de variación de la resistencia del hormigón

Variaciones en la Fabricación del Hormigón	Variaciones en procesos de ensayo
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambios en la relación agua/cemento debido a: <ul style="list-style-type: none"> - Falta de control en la cantidad de agua utilizada para cada mezcla. - Variación de humedad de los áridos. - Adición no controlada de agua a la mezcla • Variación en la necesidad de agua de la mezcla por: cambios en el tipo de árido: en la graduación, forma, tamaño y porosidad -Cambios en el tipo y dosificación de los ingredientes: áridos, filers, aditivos. • Cambios en los procesos de mezclado, transporte, colocación y compactación del hormigón. • Variaciones en la temperatura y el tipo de curado o ausencia de este. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos inadecuados de muestreo. • Mala calidad de los moldes. • Falta de curado. • Inicio del curado con retardo. • Curado a temperaturas muy bajas. • Procedimientos de ensayo defectuosos: <ul style="list-style-type: none"> -No utilización del “Capping -Superficies de los cilindros muy irregulares, cóncavas o convexas. -Uso de máquinas inapropiadas o no calibradas para realizar el ensayo

Fuente:⁴²

Más adelante se abordará con énfasis esta propiedad del hormigón y como determinarla, distinguiendo términos tales como resistencia promedio requerida a compresión de los especímenes de ensayo y resistencia especificada a la compresión o de diseño del proyecto.

Resistencia a la flexión

También llamada módulo de ruptura, y se la puede medir con la utilización de vigas estándar midiendo la resistencia a la tracción por flexión, o con la utilización de los cilindros estándar con el procedimiento del ensayo brasilero midiendo la resistencia a la tensión diametral.

⁴²<http://www.lafarge.com.ec/Criterios%20para%20el%20diseno%20de%20mezclas%20en%20laboratorio.pdf>

Resistencia a la tracción⁴³

El hormigón tiene una capacidad muy inferior para resistir los esfuerzos de tracción, razón por la cual no se considera para efectos resistentes, pero existen fenómenos tales como: la fisuración, el esfuerzo cortante, la adherencia de las armaduras, etc, por ejemplo en el caso de los pavimentos que puede ser esencial el conocimiento de la resistencia a la tracción pues reflejan el grado de cohesión en lugar de la resistencia a la compresión o su aplastamiento.

Su valor aproximadamente esta entre el 8% a 12% de su resistencia a la compresión es por ello que en el hormigón armado se asume que el acero de refuerzo absorbe los esfuerzos de tracción.

Según el (ACI 318S-08, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario, 2008), se tiene las siguientes ecuaciones para el cálculo de la resistencia a la tracción del hormigón:

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} \quad (MPa) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$f_r = 2 \lambda \sqrt{f'_c} \quad (Kg/cm^2) \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

f_r : Resistencia a la tracción del hormigón en kg/cm^2 .

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón en kg/cm^2 .

La resistencia al cortante⁴⁴

Las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales.

Para la determinación de la resistencia al corte se realiza la prueba de corte directo, evitando al máximo los esfuerzos de flexión, sometiendo una muestra a fuerzas paralelas de sentido inverso hasta la fractura de la pieza.

La resistencia al corte del hormigón “vc” tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción. El esfuerzo mínimo del hormigón simple al corte se determina de la siguiente manera:

$$v_c = 0,53 \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

⁴³ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 19)

⁴⁴ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 20)

v_c : Resistencia al corte del hormigón en kg/cm^2 .

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón en kg/cm^2

Resistencia al Desgaste

La pasta y el árido deben ser resistentes para que puedan formar un conjunto armónico que sea muy resistente ante las solicitaciones por desgaste, en general el hormigón tiene buena resistencia a este tipo de esfuerzos, para aumentar su capacidad resistente al el desgaste del hormigón se debe diseñar y fabricar utilizando: relaciones bajas de $w/(c+p)$, áridos gruesos resistentes, arenas silíceas más no calizas.

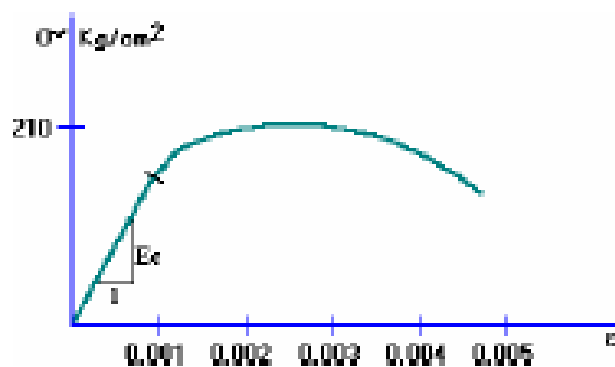
Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez de un material, o sea la resistencia u oposición a la deformación. El hormigón, no es un material verdaderamente elástico, pero, endurecido por completo y cargado en forma moderada, tiene una curva de esfuerzo vs deformación que se considera como una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.

En general, esta propiedad se determina a partir de pruebas a la compresión de cilindros de hormigón. El módulo de elasticidad es la razón entre esfuerzo (σ) deformación específica (ϵ).

$$E_c = \sigma_c / \epsilon \quad \text{Ec. (5)}$$

Figura 21 Representación del módulo de elasticidad del hormigón.



Fuente: ROMO, M., Temas de Hormigón Armado, Escuela Politécnica del Ejército, Pág. 18

Para calcular el módulo de elasticidad el reglamento ACI 318S-08, propone la siguiente expresión experimental:

$$Ec = 15100\sqrt{f'c} \quad \text{Ec. (6)}$$

Siendo: $f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón en kg/cm^2 .

En nuestro medio, esta expresión no se cumple ya que según los resultados obtenidos en investigaciones en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador, el módulo de elasticidad se debe calcular con una buena aproximación con la siguiente expresión, valor que para nuestros materiales es prácticamente 2/3 del valor propuesto por el ACI 318:

$$Ec = 10000\sqrt{f'c} \quad \text{Ec. (7)}$$

Hagamos un ejemplo: Para $f'c = 59 \text{ MPa}$ (602 kg/cm^2)

$$Ec = 10000\sqrt{602}$$

$$Ec = 245356 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 24045 \text{ MPa}$$

Durabilidad

El hormigón además de ser resistente, debe ser durable a través del tiempo, durante toda su vida útil ante la presencia de las condiciones de uso para las que fue diseñado y los factores ambientales que pueden presentarse a través del tiempo.

2.5 Comportamiento elástico e inelástico⁴⁵

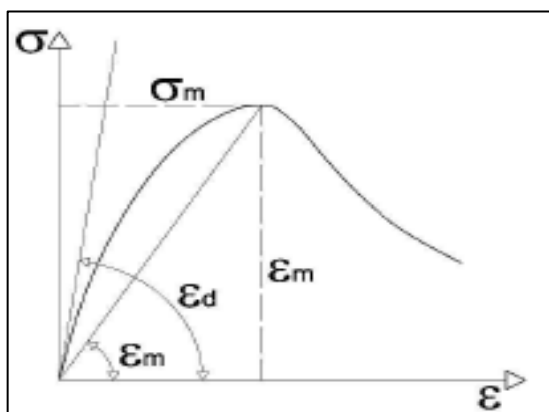
Para los materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante, e independiente de la carga aplicada, en cambio en los materiales inelásticos es variable, conforme se varia la carga aplicada. Pero generalmente los materiales en ingeniería, incluyendo al hormigón, presentan una combinación de ambos comportamientos, inicialmente elástico y posteriormente inelásticos al aumentar la tensión aplicada.

⁴⁵ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 27)

Cuando se someten a las probetas de hormigón a las cargas axiales, y se registran al mismo tiempo sus deformaciones, para con estos datos hacer un diagrama esfuerzo vs. deformación se puede claramente distinguir rangos de comportamiento del hormigón:

- Primer rango: comportamiento elástico y relativamente lineal (similar a una línea recta en la curva esfuerzo - deformación) y elástico cuando las cargas son comparativamente bajas (menores al 70% de la carga de rotura).
- Segundo rango: comportamiento no lineal e inelástico (con una geometría curva en la curva esfuerzo – deformación) cuando las cargas son altas.
- Tercer rango: curva, descendente hasta la tensión de rotura.

Figura 22 Diagrama esfuerzo vs deformación hormigón



Fuente: (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 27)

Fluencia del hormigón:

Cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo en el hormigón produce en este, un comportamiento plástico, bajo estas condiciones la deformación que sufre el mismo se denomina fluencia del hormigón. Se estima que esta condición es causada por la combinación de dos tipos de fenómenos: uno derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento, que se denomina fluencia básica y otro proveniente de la migración interna de la humedad, que se traduce en una retracción hidráulica adicional, cuyos factores desencadenantes más importantes son: el tipo y la dosis de cemento, la humedad

ambiente, la magnitud de la tensión aplicada y la edad del hormigón en el momento de su aplicación.

El conocimiento de la fluencia es necesario para:

- Cálculo de deformaciones en elementos de hormigón armado,
- Determinar la pérdida de la tensión aplicada en una estructura de hormigón pretensado.
- Cálculo de tensiones a partir de la medición de deformaciones.

2.6 Deformaciones⁴⁶

Deformación: Se define como un cambio en la forma o dimensiones de un cuerpo debido a la acción de cargas o cambios de temperatura.

La deformación del hormigón se mide con la prueba de resistencia utilizando los especímenes de 28 días de edad. Los factores importantes a analizar son el tiempo de aplicación de la carga, la velocidad, la realcion agua-material cementante y la esbeltez del espécimen.

Tipos de deformaciones en el hormigón:

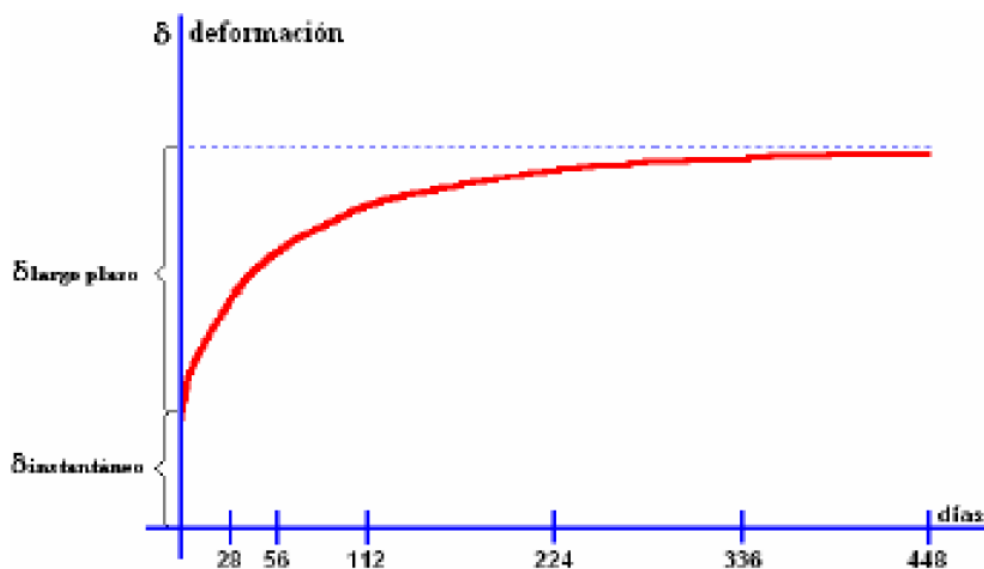
Según ROMO, M., Temas de Hormigón Armado, Escuela Politécnica del Ejército:

“Cuando el hormigón es sometido a cargas de larga duración, el material tiene una deformación instantánea en el momento inicial de la carga y una deformación adicional a largo plazo como producto del flujo plástico del hormigón” (pag.24).

En el hormigón se presentan las deformaciones instantáneas y deformaciones a largo plazo, como se puede observar en el siguiente diagrama:

⁴⁶ <http://www.gef.es/Congresos/23/pdf/3-2.pdf>

Figura 23 Diagrama Deformación vs. Tiempo



Fuente: Según ROMO, M., Temas de Hormigón Armado, Escuela Politécnica del Ejército, pag.24.

La deformación total producida en un elemento de hormigón es suma de diversas deformaciones parciales, que pueden clasificarse como sigue:

Tabla 10 Deformaciones del hormigón

DEFORMACIONES	DEPENDIENTES DE LAS CARGAS EXTERIORES		INDEPENDIENTES DE LAS CARGAS EXTERIORES
	INSTANTÁNEAS	DIFERIDAS (FLUENCIA)	
Reversibles	Elásticas	Elásticas diferidas	Termohigrométricas
Irreversibles	Remanentes	Plásticas diferidas	Retracción

Fuente : <http://www.arqui.com/images/ARTICU26.html#fluencia>

CAPITULO III: PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS PARA HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA

3.1 Selección de materiales

Debido a la necesidad de producir hormigones de alta resistencia con materiales disponibles en el medio muy cercanos a las grandes ciudades para evitar distancias de transporte excesivas a las fábricas de producción de hormigón, fáciles de adquirir y además que cumplan las condiciones necesarias, con el tratamiento respectivo para producir hormigón de alta resistencia se ha decidido utilizar: Los agregados de la mina “Cantera Río Guayllabamba”.

3.1.1 Ubicación, características de la zona y explotación de los agregados del sector Guayllabamba.

Figura 24 Mina “Cantera del Río Guayllabamba, Visualización de accesos”



Elaborado por: MOYANO, J., Software Google Earth, Enero / 2014

Datos de la mina:

- Nombre de la mina: “Cantera del Río Guayllabamba”
- Concesión minera: “Carlos Alberto”.
- Ubicación: políticamente se encuentra en el sector de Guayllabamba del cantón Quito en la provincia de Pichincha, está situada alrededor del kilómetro 12 de la vía Quito-Guayllabamba (pasando el puente sobre el río Guayllabamba a la derecha, ver Figura 24).
- Área aproximada de implantación: es 3,20 has.
- Altitud: se encuentra bordeando en promedio desde los 1950m a los 2000m sobre el nivel medio del mar.
- Coordenadas de ubicación: Se presenta a continuación los puntos de referencia con sus respectivas coordenadas planas de ubicación en la proyección Universal Transversa de Mecator sistema wgs 84 y las Coordenadas Geográficas.⁴⁷

Tabla 11 Coordenadas de Ubicación de la Mina “Cantera Río Guayllabamba”

Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 17M			Coordenadas Geográficas	
Punto	Este	Norte	Longitud	Latitud
P1	792146.14 m E	9992024.47 m S	78°22'31.72"O	0° 4'19.49"S
P2	791976.55 m E	9991737.89 m S	78°22'37.20"O	0° 4'28.82"S
P3	791957.06 m E	9991950.11 m S	78°22'37.83"O	0° 4'21.91"S
P4	792067.61 m E	9991882.18 m S	78°22'34.26"O	0° 4'24.12"S
P5	792018.20 m E	9991925.42 m S	78°22'35.86"O	0° 4'22.71"S

Elaborado por: MOYANO, J., Enero/2014

⁴⁷ El área de implantación aproximada, y las coordenadas fueron obtenidas con ayuda del software google earth y los recursos de la página <http://www.freemaptools.com/>

Figura 25 Área Aproximada y puntos de coordenadas de la mina “Cantera Río Guayllabamba”



Elaborado por: MOYANO, J., Software Google Earth, Enero / 2014

Productos que ofrece la mina:

La mina provee agregados para hormigones, pavimentos, etc.

Se ofrece principalmente arena lavada y sin lavar, ripio en diferentes tamaños;; 1¼; 1; ¾; ½; ⅜; chispa, rocas para empedrados, etc., así como se trabaja bajo pedidos especiales de las empresas.

Extracción y Procesamiento del material:

Con la ayuda de maquinaria los agregados son extraídos del río principalmente, y de la base de la montaña en ocasiones. Luego son llevados por medio de volquetes hasta una máquina de lavado donde con la misma agua del río se lava el material lo cual hace que se pierda la arcilla, pero no así la materia orgánica, puesto que el agua del río Guayllabamba tiene muy altos índices de contaminación, este proceso para hormigones de alta resistencia debe optimizarse. Posteriormente los materiales son llevados hasta la máquina trituradora para reducir el tamaño de los

agregados, finalmente el ripio es llevado hasta los diferentes tamices o cribas en donde se obtiene los tamaños deseados para la venta y distribución.

Geología:

Según (LÓPEZ & VELOZ, 2013, pág. 47):

El afloramiento Guayllabamba se extiende por algunos kilómetros a los costados del río Guayllabamba y está relacionado con la formación Macuchi, que tiene una sobrecarga de material piroclástico y depósitos lagunares. Se presenta la roca como volcánica maciza y potente intercalada con delgadas capas de lutitas.

3.2 Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la mina de Guayllabamba.

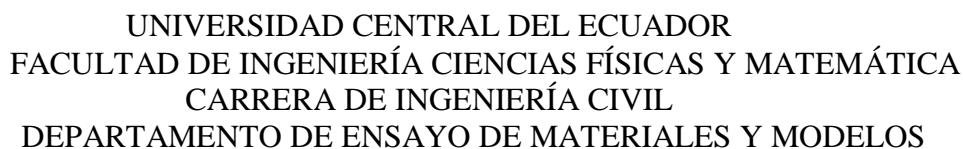
Para el estudio de las propiedades de los agregados, primeramente se debe realizar la obtención de las muestras en la mina, siguiendo los procedimientos indicados en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 695 Áridos. Muestreo, 2010), con el objeto de que las muestras reflejen la realidad de la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Con este antecedente se presentan los ensayos realizados en los agregados.

3.2.1 Ensayos de abrasión

Para el hormigón de alta resistencia, es fundamental que los agregados deban ser capaces de resistir el desgaste y degradación durante la producción, colocación y compactación, mucho más que para hormigones convencionales.

Mediante el ensayo de abrasión vamos a conocer valor de la degradación de agregado grueso y si el mismo, es adecuado para un hormigón de elevada resistencia, que se recomienda, se tenga un porcentaje de desgaste máximo del 20% para los agregados gruesos, y un coeficiente de forma como mínimo de 0,20. El ensayo de abrasión se realizó conforme a lo estipulado en las normas NTE-INEN 860 y NTE-INEN 861.



NORMA: NTE-INEN 860 (ASTM-C131)
TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
 LÍNEA LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA
FECHA : 13-may-13

GRADUACION : B

RETIENE	MASA
1/2" (12,7mm)	2500 ± 10
3/8" (9,51mm)	2500 ± 10
Σ	5000

	DESCRIPCION	U	CANTIDAD
1	MASA INICIAL	g	5000
2	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	4647
3	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	353
4	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	%	7,06
5	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	3600
6	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	1400
7	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	%	28,00
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (4 /7)		0,25



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**RESULTADOS DE ENSAYO DE ABRASION
EN AGREGADO GRUESO**

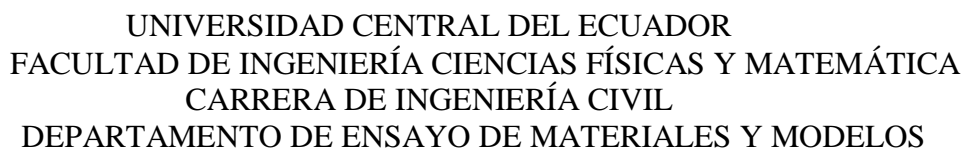
NORMA : NTE-INEN 860 (ASTM-C131)
TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA
(f'c=59MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA
LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO
GUAYLLABAMBA
FECHA : 16-may-13

ENSAYO: 2 **MASA DE LA**
MUESTRA : 5000g

GRADUACION : B

RETIENE	MASA
1/2" (12,7mm)	2500 ± 10
3/8" (9,51mm)	2500 ± 10
Σ	5000

	DESCRIPCION	U	CANTIDAD
1	MASA INICIAL	g	5000
2	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	4633
3	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	367
4	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	%	7,34
5	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	3585
6	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	1415
7	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	%	28,30
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (4 /7)		0,26



NORMA : NTE-INEN 860 (ASTM-C131)
TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
 ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO
 GUAYLLABAMBA
FECHA : 20-may-13

ENSAYO: 3 **MASA DE LA MUESTRA:** 5000g

GRADUACIÓN : B

	DESCRIPCIÓN	U	CANTIDAD
1	MASA INICIAL	g	5000
2	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	4658
3	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	g	342
4	PERDIDA DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	%	6,84
5	RETENIDO EN EL TAMIZ N°12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	3625
6	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	g	1375
7	PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	%	27,50
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (4 /7)		0,25

3.2.2 Ensayos de colorimetría

Estos ensayos sirven para determinar aproximadamente el contenido inapropiado de impurezas orgánicas que presenta el agregado fino, dichas impurezas orgánicas generalmente son productos de descomposición vegetal, que aparecen en forma de humus o arcilla orgánica, que si se encuentran en grandes cantidades interfieren en las reacciones químicas de hidratación del cemento, afectando principalmente el tiempo de fraguado, resistencia y durabilidad del hormigón.

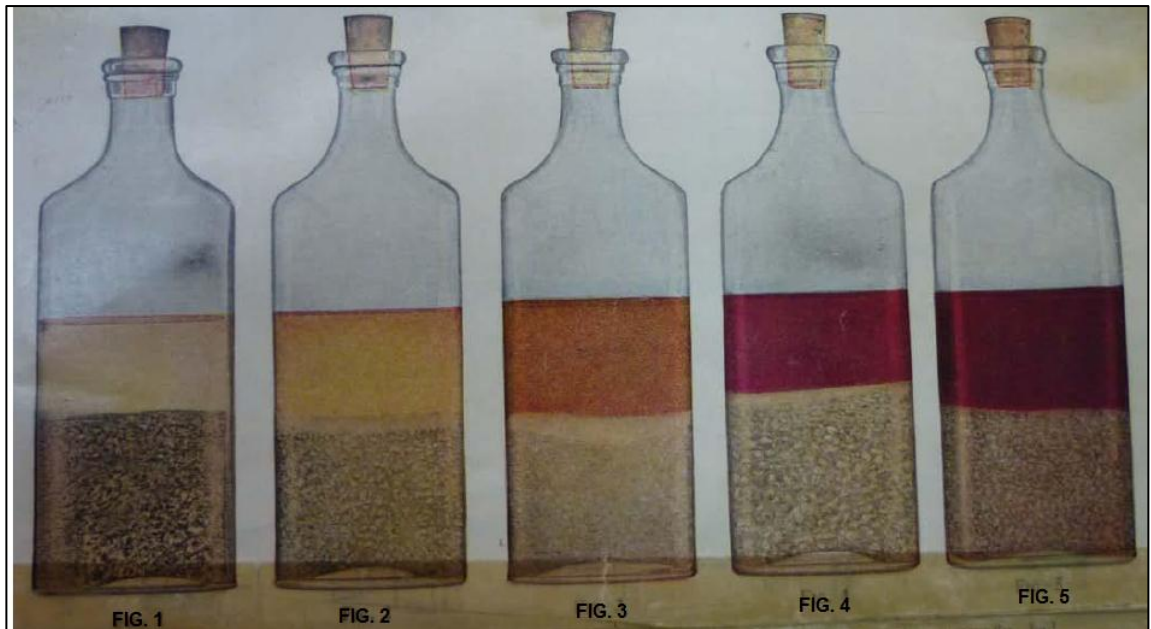
El método consiste básicamente en añadir a una cantidad de agregado fino, una solución de hidróxido de sodio, agitar vigorosamente y dejar reposar 24 horas para luego comparar la tonalidad que ha adquirido la solución con una tarjeta de colores, y se tendrá la correspondiente descripción, dicha tarjeta de colores contiene cinco intensidades que van desde un ligero color amarillo hasta una coloración oscura.

Tabla 12 Escala de color

No .	Coloración	Descripción
1	Amarillo Claro	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcillas. (Ideal para hormigones de alta resistencia)
2	Amarillo Fuerte	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad
3	Marrón Anaranjado (color base)	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Anaranjado Rojizo	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad
5	Anaranjado Oscuro	Arena de muy mala calidad. Existe demasiada materia orgánica, limos o arcilla. No se usa.

Fuente: ASTM

Figura 26 Escala de color



Fuente: ASTM

Para hormigones de alta resistencia donde se necesita que las reacciones de hidratación se realicen de forma prolija, lo ideal es que el agregado fino no contenga materia orgánica, o a su vez sea mínimo (Fig.1 o 2: color amarillo claro o fuerte) que pueda de alguna manera impedir la normal adquisición de resistencia, por cual en caso de ser necesario se realizará un lavado adicional del material para evitar la presencia de estas impurezas.

El agregado fino prelavado de la mina “Cantera Río Guayllabamba” presentó los siguientes resultados:



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE COLORIMETRÍA EN AGREGADO FINO

NORMA : NTE-INEN 855 (ASTM-C40)

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO
EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 21-may-13

ENSAYO: 1



RESULTADO: *fig. 1 color amarillo claro; Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcillas. (Ideal para hormigones de alta resistencia).*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE COLORIMETRÍA EN AGREGADO FINO

NORMA : NTE-INEN 855 (ASTM-C40)

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO
EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LÍNEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 21-may-13

ENSAYO: 2



RESULTADO: fig. 1 color amarillo claro; *Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcillas. (Ideal para hormigones de alta resistencia).*

3.2.3 Densidad real (peso específico)

Es la relación entre el peso y el volumen de una masa de agregado.

Los ensayos están referidos a la norma NTE-INEN 857 (ASTM-C127).

3.2.4 Capacidad de absorción

Es la capacidad que tienen los agregados para incrementar su masa debido al agua en sus poros, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

La absorción se relaciona con la cantidad de vacíos en volumen del agregado, la cual está en función de:

- La finura de los granos.
- Cantidad de poros accesibles.
- La rugosidad de la superficie.
- Comportamiento del material con el agua.⁴⁸

Se presenta enseguida los ensayos de capacidad de absorción y peso específico, realizados de acuerdo a lo especificado en las normas NTE- INEN 856 y NTE- INEN 857.

⁴⁸ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 64)



**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO GRUESO**

NORMA : NTE-INEN 857 (ASTM-C127). NTE-INEN 856 (ASTM-C128)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE
CANTERA RÍO

ORIGEN: GUAYLLABAMBA

FECHA : 14-may-13

ENSAYO : 1

AGREGADO GRUESO

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	4040,0 g
2	MASA DEL RECIPIENTE	237,0 g
3	MASA DEL RIPIO EN SSS	3803,0 g
4	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	1648,0 g
5	MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	3980,0 g
6	MASA DEL RIPIO EN AGUA	2332,0 g
7	VOLUMEN DESALOJADO	1471,0 cm ³
8	PESO ESPECIFICO	2,59 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	4029,0 g
2	MASA DEL RIPIO SECO + RECIPIENTE	3950,0 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	236,0 g
4	MASA DE AGUA	79,0 g
5	MASA DE RIPIO SECO	3714,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	2,13 %



**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION DE
AGREGADO GRUESO**

NORMA : NTE-INEN 857. NTE-INEN 856

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA

FECHA : 15-MAY-13

ENSAYO : 2

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	4283,0 g
2	MASA DEL RECIPIENTE	294,0 g
3	MASA DEL RIPIO EN SSS	3989,0 g
4	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	1651,0 g
5	MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	4100,0 g
6	MASA DEL RIPIO EN AGUA	2449,0 g
7	VOLUMEN DESALOJADO	1540,0 cm ³
8	PESO ESPECIFICO	2,59 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	4127,0 g
2	MASA DEL RIPIO SECO + RECIPIENTE	4042,0 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	243,0 g
4	MASA DE AGUA	85,0 g
5	MASA DE RIPIO SECO	3799,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	2,24 %



**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION DE
AGREGADO GRUESO**

NORMA : NTE-INEN 857. NTE-INEN 856

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA

FECHA : 13-JUN-13

ENSAYO : 3

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	4223,0 g
2	MASA DEL RECIPIENTE	228,0 g
3	MASA DEL RIPIO EN SSS	3995,0 g
4	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	1654,0 g
5	MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	4101,0 g
6	MASA DEL RIPIO EN AGUA	2447,0 g
7	VOLUMEN DESALOJADO	1548,0 cm ³
8	PESO ESPECIFICO	2,58 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	4225,0 g
2	MASA DEL RIPIO SECO + RECIPIENTE	4138,0 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	228,0 g
4	MASA DE AGUA	87,0 g
5	MASA DE RIPIO SECO	3910,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	2,23 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO GRUESO**

NORMA : NTE-INEN 857 NTE-INEN 856

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA

FECHA : 13-JUN-13

ENSAYO : 4

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	4228,0 g
2	MASA DEL RECIPIENTE	228,0 g
3	MASA DEL RIPIO EN SSS	4000,0 g
4	MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN AGUA	1647,0 g
5	MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	4109,0 g
6	MASA DEL RIPIO EN AGUA	2462,0 g
7	VOLUMEN DESALOJADO	1538,0 cm ³
8	PESO ESPECIFICO	2,60 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	4240,0 g
2	MASA DEL RIPIO SECO + RECIPIENTE	4148,0 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	240,0 g
4	MASA DE AGUA	92,0 g
5	MASA DE RIPIO SECO	3908,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	2,35 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO FINO**

NORMA : NTE-INEN 857 (ASTM-C127). NTE-INEN 856 (ASTM-C128)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59 \text{ MPa}$)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE
LA LINEA LAFARGE
CANTERA RÍO
ORIGEN: GUAYLLABAMBA
FECHA : 14-MAY-13 **ENSAYO :** 1

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL PICNOMETRO + ARENA SSS	498,7 g
2	MASA DE PICNOMETRO	173,8 g
3	MASA DE ARENA EN SSS	324,9 g
4	MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	672,0 g
5	MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	868,7 g
6	VOLUMEN DESALOJADO	128,2 cm ³
7	PESO ESPECIFICO	2,53 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE ARENA SSS + RECIPIENTE	566,0 g
2	MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	560,1 g
3	MASA DE RECIPIENTE	129,1 g
4	MASA DE AGUA	5,9 g
5	MASA DE ARENA SECA	431,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	1,37 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO FINO**

NORMA : NTE-INEN 857 (ASTM-C127). NTE-INEN 856 (ASTM-C128)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE
LA LINEA LAFARGE
CANTERA RÍO
ORIGEN: GUAYLLABAMBA
FECHA : 14-may-13 **ENSAYO :** 2

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL PICNOMETRO + ARENA SSS	482,8 g
2	MASA DE PICNOMETRO	159,0 g
3	MASA DE ARENA EN SSS	323,8 g
4	MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	657,7 g
5	MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	854,4 g
6	VOLUMEN DESALOJADO	127,1 cm ³
7	PESO ESPECIFICO	2,55 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE ARENA SSS + RECIPIENTE	531,6 g
2	MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	525,9 g
3	MASA DE RECIPIENTE	134,0 g
4	MASA DE AGUA	5,7 g
5	MASA DE ARENA SECA	391,9 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	1,45 %



**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO FINO**

NORMA : NTE-INEN 857 (ASTM-C127). NTE-INEN 856 (ASTM-C128)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 13-JUN-13

ENSAYO : 3

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL PICNOMETRO + ARENA SSS	506,9 g
2	MASA DE PICNOMETRO	159,0 g
3	MASA DE ARENA EN SSS	347,9 g
4	MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	657,3 g
5	MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	868,7 g
6	VOLUMEN DESALOJADO	136,5 cm ³
7	PESO ESPECIFICO	2,55 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE ARENA SSS + RECIPIENTE	615,0 g
2	MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	608,5 g
3	MASA DE RECIPIENTE	138,0 g
4	MASA DE AGUA	6,5 g
5	MASA DE ARENA SECA	470,5 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	1,38 %



**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCION
DE AGREGADO FINO**

NORMA : NTE-INEN 857 (ASTM-C127). NTE-INEN 856 (ASTM-C128)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 13-JUN-13

ENSAYO :

4

PESO ESPECIFICO		
1	MASA DEL PICNOMETRO + ARENA SSS	482,8 g
2	MASA DE PICNOMETRO	159,0 g
3	MASA DE ARENA EN SSS	323,8 g
4	MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	657,7 g
5	MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	854,4 g
6	VOLUMEN DESALOJADO	127,1 cm ³
7	PESO ESPECIFICO	2,55 g / cm ³
CAPACIDAD DE ABSORCION		
1	MASA DE ARENA SSS + RECIPIENTE	624,0 g
2	MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	618,0 g
3	MASA DE RECIPIENTE	136,0 g
4	MASA DE AGUA	6,0 g
5	MASA DE ARENA SECA	482,0 g
6	CAPACIDAD DE ABSORCION	1,24 %

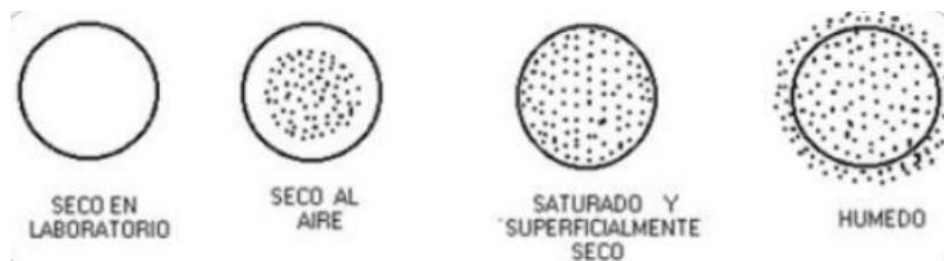
3.2.5 Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua contenida en los agregados, que está relacionada directamente con la porosidad de las partículas, que depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o total de poros.

Estados de humedad de las partículas de agregado:

- Totalmente Seco: Se logra mediante un secado al horno a 110°C, hasta que los agregados tengan un peso constante (generalmente 24 horas).
- Parcialmente Seco: Cuando existe algo de humedad en el árido, se logra mediante exposición al aire libre. Al igual que en el caso anterior el contenido de humedad es menor a la capacidad de absorción.
- Saturado y Superficialmente Seco (SSS): En un estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Es un estado ideal del agregado, en el cual no absorbe ni cede agua.
- Totalmente Húmedo: Todos los agregados están llenos de agua y además existe agua libre superficial⁴⁹.

Figura 27 Estados de humedad de las partículas de agregados



Fuente: (TAS, 2011, pág. 9)

Los ensayos fueron realizados siguiendo la norma NTE-INEN 862 (ASTM C-566) y se presentan a continuación:

⁴⁹ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 63)



**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EN
AGREGADO GRUESO Y FINO**

NORMA : NTE-INEN 862 (ASTM-C566).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 16-AGOSTO-13

ENSAYO : 1

AGREGADO GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE RIPIO ORIGINAL + RECIPIENTE	1235,6 g
2	MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	1230,7 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	228,0 g
4	MASA DEL AGUA EN EL RIPIO	4,9 g
5	MASA DE RIPIO SECO	1002,7 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,49

AGREGADO FINO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE ARENA HUMEDA + RECIPIENTE	564,3 g
2	MASA DE LA ARENA SECA + RECIPIENTE	563,3 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	236,0 g
4	MASA DEL AGUA EN LA ARENA	1,0 g
5	MASA DE LA ARENA SECA	327,3 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,31



**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EN
AGREGADO GRUESO Y FINO**

NORMA : NTE-INEN 862 (ASTM-C566).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 24-AGOSTO-13

ENSAYO : 2

AGREGADO GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE RIPIO ORIGINAL + RECIPIENTE	1236,4 g
2	MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	1231,3 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	225,0 g
4	MASA DEL AGUA EN EL RIPIO	5,1 g
5	MASA DE RIPIO SECO	1006,3 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,51

AGREGADO FINO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE ARENA HUMEDA + RECIPIENTE	542,7 g
2	MASA DE LA ARENA SECA + RECIPIENTE	541,6 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	218,8 g
4	MASA DEL AGUA EN LA ARENA	1,1 g
5	MASA DE LA ARENA SECA	322,8 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,34



**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EN
AGREGADO GRUESO Y FINO**

NORMA : NTE-INEN 862 (ASTM-C566).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 05-SEPTIEMBRE-13

ENSAYO : 3

AGREGADO GRUESO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE RIPIO ORIGINAL + RECIPIENTE	1242,9 g
2	MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	1238,2 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	230,4 g
4	MASA DEL AGUA EN EL RIPIO	4,7 g
5	MASA DE RIPIO SECO	1007,8 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,47

AGREGADO FINO

CONTENIDO DE HUMEDAD		
1	MASA DE ARENA HUMEDA + RECIPIENTE	612,6 g
2	MASA DE LA ARENA SECA + RECIPIENTE	611,5 g
3	MASA DEL RECIPIENTE	238,5 g
4	MASA DEL AGUA EN LA ARENA	1,1 g
5	MASA DE LA ARENA SECA	373,0 g
6	CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD (%)	0,29

3.2.6 Densidad aparente suelta y compactada

La Densidad Aparente se define como la relación que existe entre la masa del material y el volumen que ocupa, incluyendo los poros impermeables pero no a los capilares o poros permeables. Por el hecho de que varía con el grado de compactación es un buen indicador de: la porosidad, el grado de aireación y la capacidad de infiltración.⁵⁰

La densidad aparente suelta se diferencia con la densidad aparente compactada, puesto que en la determinación de esta última el grado de compactación es mayor de ahí su nombre.

Para la determinación de las densidades de los agregados se aplica la norma NTE-INEN 858 (ASTM C-29).

A continuación se indican los ensayos correspondientes:

⁵⁰ Adaptado de (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 75)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA :
DEL AGREGADO GRUESO Y FINO**

NORMA : NTE-INEN 858(ASTM-C29)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL
 DE LA LINEA LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO
 GUAYLLABAMBA
FECHA : 14-may-13 **ENSAYO:** 1

AGREGADO GRUESO

MASA DEL RECIPIENTE :		1978 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2924 cm ³
MASA DEL RIPIO SUELTO + RECIPIENTE	1	5865 g	MASA DEL RIPIO COMPACTADO + RECIPIENTE	1	6230 g
	2	5839 g		2	6250 g
	3	5858 g		3	6215 g
	4	5875 g		4	6226 g
	5	5820 g		5	6262 g
	PROM.	5851 g		PROM.	6237 g
d ap. suelta del ripio :		1,32 g/cm ³	d ap. compactada del ripio:		1,46 g/cm ³

AGREGADO FINO

MASA DEL RECIPIENTE :		1978 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2924 cm ³
MASA DE LA ARENA SUELTA + RECIPIENTE	1	6455 g	MASA DE LA ARENA COMPACTADA + RECIPIENTE	1	6674 g
	2	6440 g		2	6695 g
	3	6438 g		3	6681 g
	4	6450 g		4	6696 g
	5	6452 g		5	6683 g
	PROM.	6447 g		PROM.	6686 g
d ap. suelta de la arena:		1,53 g/cm ³	d ap. compactada de la arena:		1,61 g/cm ³



**ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA :
DEL AGREGADO GRUESO Y FINO**

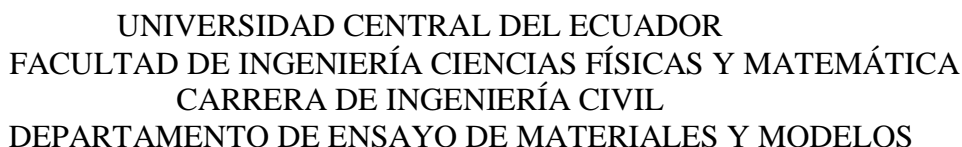
NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA
FECHA : 16-may-13 ENSAYO 2

AGREGADO GRUESO

MASA DEL RECIPIENTE :		1977 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2924 cm ³
MASA DEL RIPIO SUELTO + RECIPIENTE	1	5795 g	MASA DEL RIPIO COMPACTADO + RECIPIENTE	1	6129 g
	2	5797 g		2	6137 g
	3	5805 g		3	6130 g
	4	5804 g		4	6125 g
	5	5799 g		5	6140 g
	PROM.	5800 g		PROM.	6132 g
d ap. suelta del ripio :		1,31 g/cm ³	d ap. compactado del ripio:		1,42g/cm ³

AGREGADO FINO

MASA DEL RECIPIENTE :		1977 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2924 cm ³
MASA DE LA ARENA SUELTA + RECIPIENTE	1	6538 g	MASA DE LA ARENA COMPACTADA + RECIPIENTE	1	6744 g
	2	6548 g		2	6744 g
	3	6534 g		3	6734 g
	4	6558 g		4	6752 g
	5	6544 g		5	6741 g
	PROM.	6544 g		PROM.	6743 g
d ap. suelta de la arena :		1,56g/cm ³	d ap. compactada de la arena:		1,63g/cm ³



NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
 ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE
ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA
FECHA : 20-may-13 **ENSAYO:** 3

MASA DEL RECIPIENTE :		1976 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2919 cm ³
MASA DEL RIPIO SUELTO + RECIPIENTE	1	5822 g	MASA DEL RIPIO COMPACTADO + RECIPIENTE	1	6168 g
	2	5825 g		2	6169 g
	3	5826 g		3	6166 g
	4	5823 g		4	6165 g
	5	5822 g		5	6168 g
	PROM.	5824 g		PROM.	6167 g
d ap. suelta del ripio :		1,32 g/cm ³	d ap. compactada del ripio :		1,44g/cm ³

MASA DEL RECIPIENTE :		1976 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2919 cm ³
MASA DE LA ARENA SUELTA + RECIPIENTE	1	6536 g	MASA DE LA ARENA COMPACTADA + RECIPIENTE	1	6718 g
	2	6538 g		2	6715 g
	3	6544 g		3	6714 g
	4	6546 g		4	6711 g
	5	6542 g		5	6710 g
	PROM.	6541 g		PROM.	6714 g
d ap. suelta de la arena :		1,56 g/cm ³	d ap. compactada de la arena:		1,62g/cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA :
DEL AGREGADO GRUESO Y FINO**

NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL
DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 20-may-13

ENSAYO:

4

AGREGADO GRUESO

MASA DEL RECIPIENTE :		1974 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2891 cm ³
MASA DEL RIPIO SUELTO + RECIPIENTE	1	5830 g	MASA DEL RIPIO COMPACTADO + RECIPIENTE	1	6350 g
	2	5871 g		2	6356 g
	3	5824 g		3	6364 g
	4	5830 g		4	6386 g
	5	5839 g		5	6385 g
	PROM.	5839 g		PROM	6368 g
d ap. suelta del ripio :		1,34 g/m ³	d ap. compactado del ripio:		1,52g/cm ³

AGREGADO FINO

MASA DEL RECIPIENTE :		1974 g	VOLUMEN DEL RECIPIENTE :		2891 cm ³
MASA DE LA ARENA SUELTO + RECIPIENTE	1	6653 g	MASA DE LA ARENA COMPACTADO + RECIPIENTE	1	6861 g
	2	6679 g		2	6846 g
	3	6685 g		3	6903 g
	4	6644 g		4	6851 g
	5	6649 g		5	6835 g
	PROM.	6662 g		PROM	6859 g
d ap. suelta de la arena:		1,62 g/cm ³	d ap. compactado de la arena :		1,69g/cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 14-may-13

ENSAYO: 1

DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS											
MASA DEL RECIPIENTE VACIO:					1977 g		VOLUMEN RECIPIENTE:				2924 g
MEZCLA %		MASA kg		FINO AÑADIRSE (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					MASA DE LA MEZCLA kg	DENSIDAD APARENTE (kg / dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA								
100	0	20	0	0	6187	6191	6198	6194	6192	6192	1,44
90	10	20	2,22	2,22	6844	6886	6864	6868	6864	6865	1,67
80	20	20	5,00	2,78	7354	7360	7384	7375	7358	7366	1,84
75	25	20	6,67	1,67	7527	7535	7555	7546	7533	7539	1,90
70	30	20	8,57	1,90	7575	7575	7584	7582	7573	7578	1,92
65	35	20	10,77	2,20	7551	7554	7552	7555	7550	7552	1,91
60	40	20	13,33	2,56	7534	7490	7524	7523	7508	7516	1,89
55	45	20	16,36	3,03	7545	7491	7530	7534	7512	7522	1,90
50	50	20	20,00	3,64	7456	7428	7440	7445	7438	7441	1,87



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

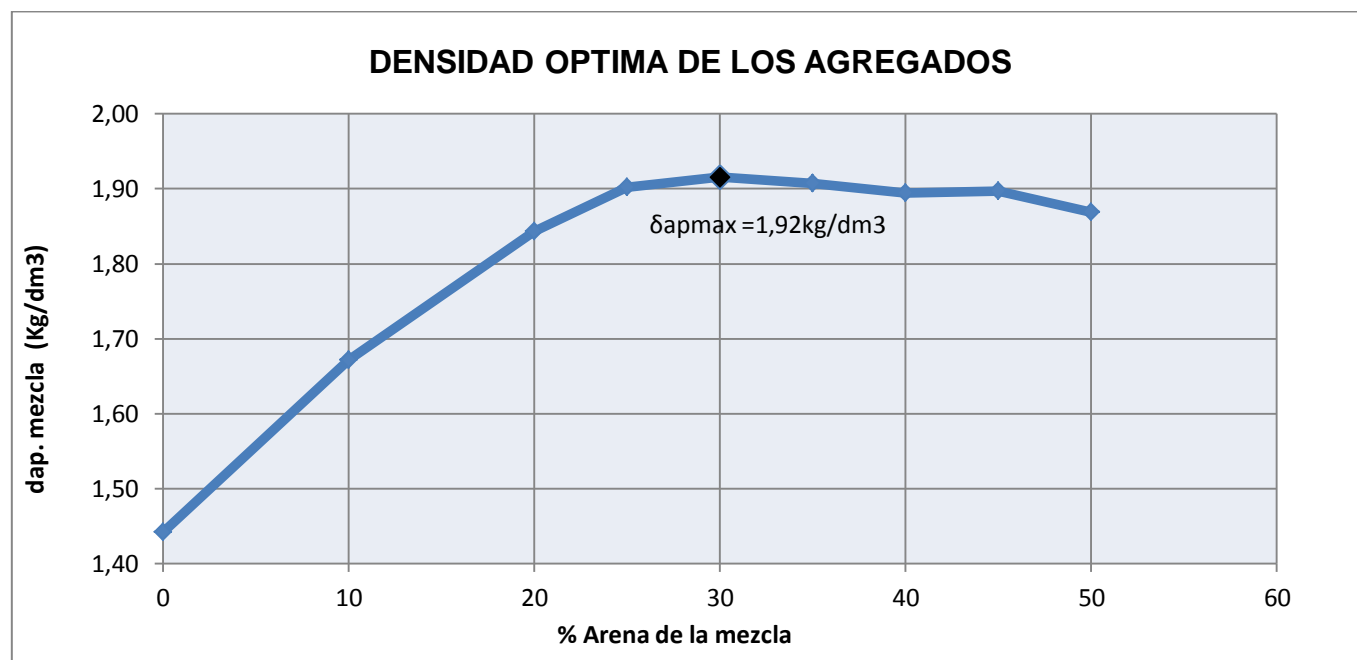
NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 14-may-13

ENSAYO: 1





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 16-may-13

ENSAYO: 2

DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS											
MASA DEL RECIPIENTE VACIO:					1977 g		VOLUMEN DEL RECIPIENTE :				2924 cm ³
MEZCLA %		MASA kg		FINO AÑADIRSE (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					MASA DE LA MEZCLA kg	DENSIDAD APARENTE (kg / dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	CANT. DE ARENA								
100	0	20	0	0	6187	6191	6198	6193	6190	6192	1,44
90	10	20	2,22	2,22	6844	6886	6864	6857	6878	6866	1,67
80	20	20	5,00	2,78	7354	7360	7384	7365	7368	7366	1,84
75	25	20	6,67	1,67	7527	7535	7555	7543	7532	7538	1,90
70	30	20	8,57	1,90	7575	7575	7584	7578	7580	7578	1,92
65	35	20	10,77	2,20	7551	7554	7552	7553	7550	7552	1,91
60	40	20	13,33	2,56	7534	7490	7524	7504	7527	7516	1,89
55	45	20	16,36	3,03	7545	7491	7530	7534	7500	7520	1,90
50	50	20	20,00	3,64	7456	7428	7440	7449	7439	7442	1,87



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

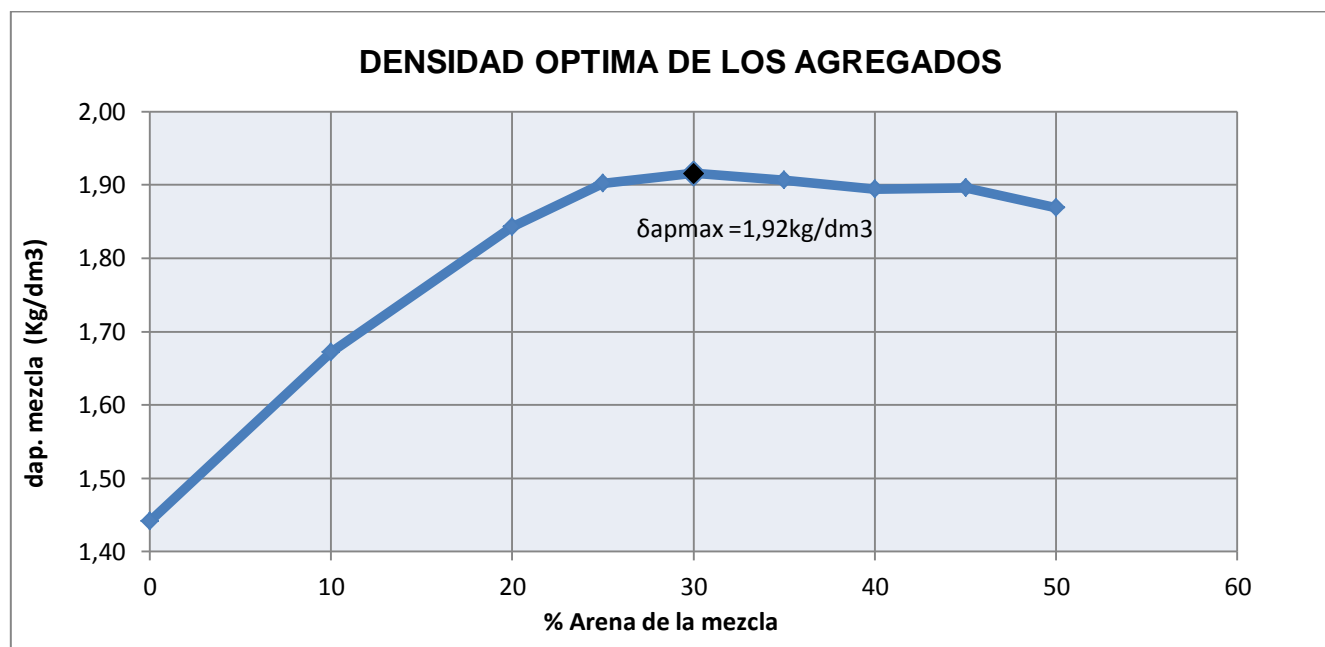
NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 16-may-13

ENSAYO: 2





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 20-may-13

ENSAYO: 3

DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS											
MASA DEL RECIPIENTE VACIO :					1976g		VOLUMEN DEL RECIPIENTE :				2919 cm ³
MEZCLA %		MASA kg		FINO AÑADIRSE (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					MASA DE LA MEZCLA kg	DENSIDAD APARENTE (kg / dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	CANT. DE ARENA								
100	0	20	0	0	6192	6188	6196	6193	6195	6193	1,44
90	10	20	2,22	2,22	6858	6876	6866	6868	6871	6868	1,68
80	20	20	5,00	2,78	7365	7368	7368	7374	7363	7368	1,85
75	25	20	6,67	1,67	7534	7545	7542	7531	7530	7536	1,90
70	30	20	8,57	1,90	7578	7576	7580	7581	7575	7578	1,92
65	35	20	10,77	2,20	7553	7551	7553	7554	7552	7553	1,91
60	40	20	13,33	2,56	7525	7495	7522	7514	7528	7517	1,90
55	45	20	16,36	3,03	7532	7521	7528	7533	7525	7528	1,90
50	50	20	20,00	3,64	7445	7438	7442	7439	7445	7442	1,87



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

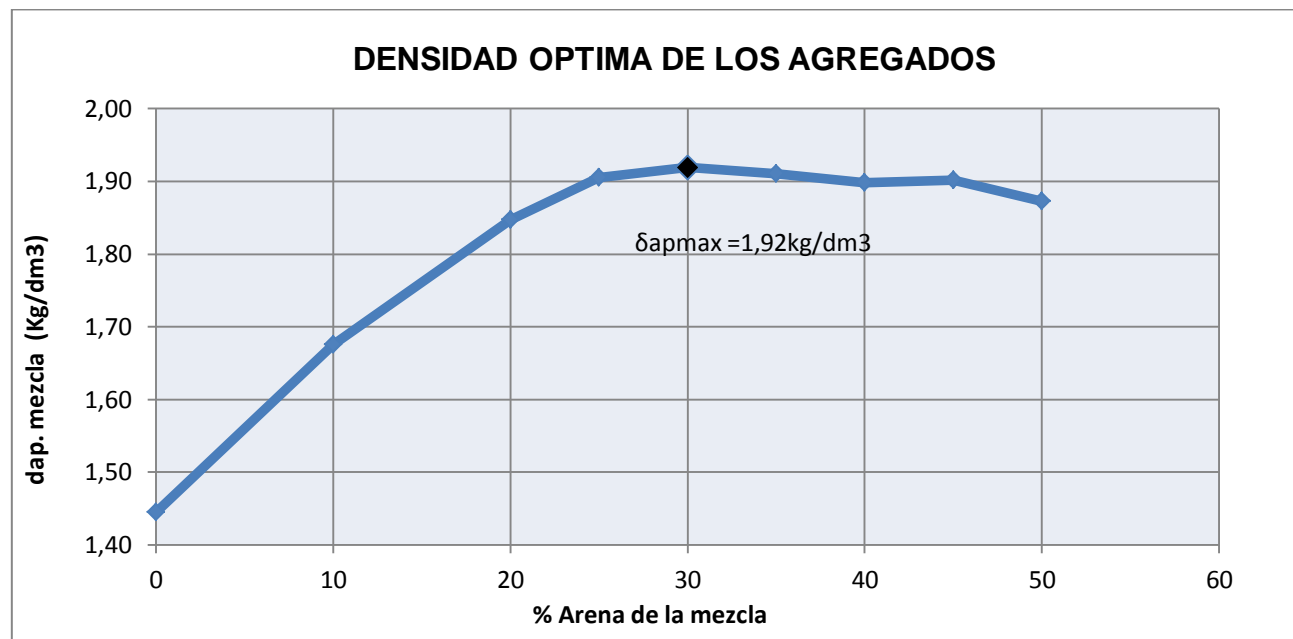
NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 20-may-13

ENSAYO: 3





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 20-may-13

ENSAYO: 4

DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS											
MASA DEL RECIPIENTE VACIO					1974 g		VOLUMEN DEL RECIPIENTE				2891 cm ³
MEZCLA %		MASA kg		FINO AÑADIRSE (kg)	MASA DEL RECIPIENTE + MEZCLA (kg)					MASA DE LA MEZCLA kg	DENSIDAD APARENTE (kg / dm ³)
RIPIO	ARENA	RIPIO	CANT. DE ARENA								
100	0	20	0	0	6250	6266	6285	6295	6289	6277	1,49
90	10	20	2,22	2,22	6968	6973	6971	6974	6996	6976	1,73
80	20	20	5,00	2,78	7489	7464	7440	7452	7458	7461	1,90
75	25	20	6,67	1,67	7556	7552	7550	7557	7556	7554	1,93
70	30	20	8,57	1,90	7610	7624	7618	7615	7620	7617	1,95
65	35	20	10,77	2,20	7550	7557	7552	7555	7555	7554	1,93
60	40	20	13,33	2,56	7506	7502	7503	7508	7507	7505	1,91
55	45	20	16,36	3,03	7500	7496	7492	7495	7497	7496	1,91



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD OPTIMA DE LOS AGREGADOS:

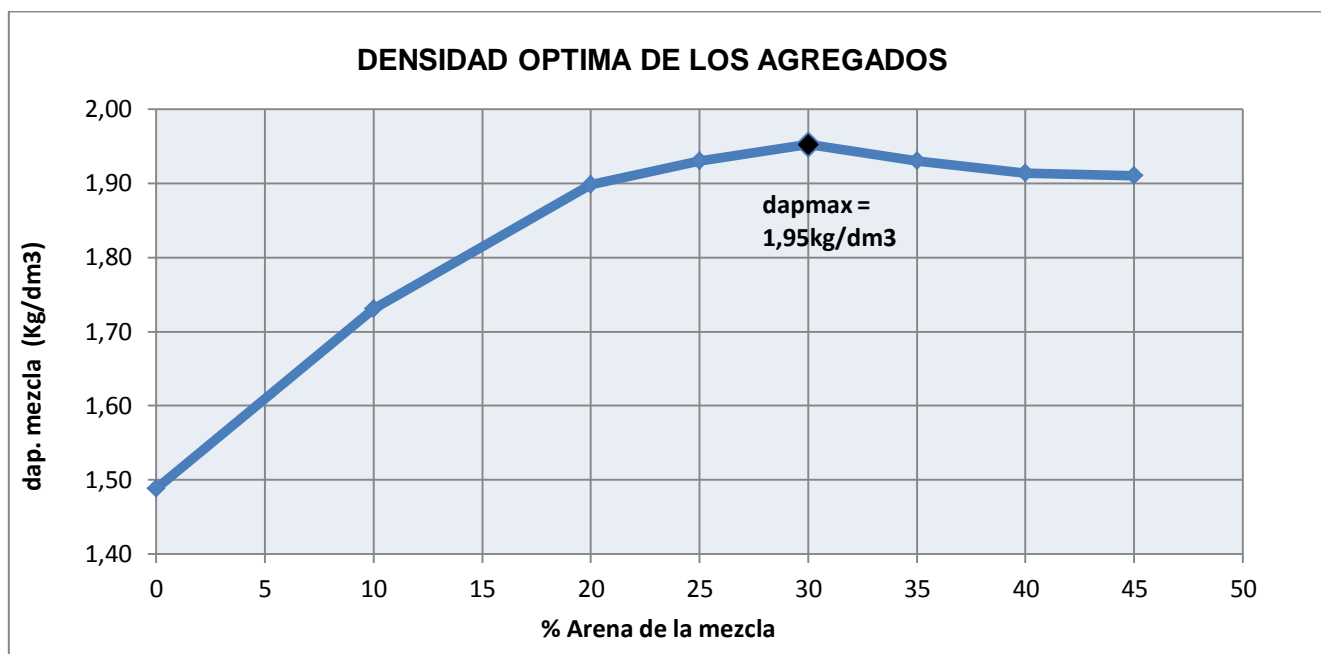
NORMA : NTE-INEN 858 (ASTM-C29)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO
ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

FECHA : 20-may-13

ENSAYO: 4



3.2.7 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado que es determinada por el análisis en los tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas.⁵¹

Es imprescindible determinarla para dosificar hormigones de alta resistencia, puesto que influye directamente en la trabajabilidad, economía, porosidad y contracción de la mezcla. Además sirve para encontrar el tamaño máximo y tamaño nominal máximo, módulo de finura y lo más importante: determinar si los agregados están bien gradados para la elaboración de mezcla, es decir, si están dentro de la faja granulométrica límite, establecida en la norma NTE INEN 872 (ASTM C 33), o si se deben realizar correcciones granulométricas.

Tamaño máximo (TM)

Es el menor tamiz por el que pasa toda la muestra.

Tamaño nominal máximo (TNM)

Es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, la malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.⁵²

Normalmente, se requiere más agua y cemento en hormigones con agregados gruesos de TNM menor comparado con agregados de TNM mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado.

Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie de Tamices A.S.T.M (Sistema Americano de Testeo de materiales) o también llamada serie de Abrams,

⁵¹ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 43)

⁵² <http://www.arqhys.com/construccion/concreto-granulometria.html>

que utiliza 10 tamices en donde la relación de aberturas de dos consecutivos es de uno a dos.⁵³

Tabla 13 Tamices de la serie de Abrams

Designación ASTM	Abertura de sus mallas(mm)	Clasificación
3 "	76,00	Agregados Finos
1.5"	38,00	
3/4"	19,00	
3/8"	9,50	
N°4	4,75	
N°8	2,38	Agregados Gruesos
N°16	1,19	
N°30	0,59	
N°50	0,30	
N°100	0,15	

Fuente: Adaptado de <http://es.scribd.com/doc/52912606/Serie-tamices>

Se recomienda para el árido fino: $2.3 \leq MF \leq 3.2$, y para el árido grueso: $MF > 4$.

Los ensayos presentados a continuación fueron realizados de acuerdo a la norma NTE - INEN 696 (ASTM C 136).

⁵³ <http://es.scribd.com/doc/52912606/Serie-tamices>



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA : NTE-INEN 872 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 13-may-13

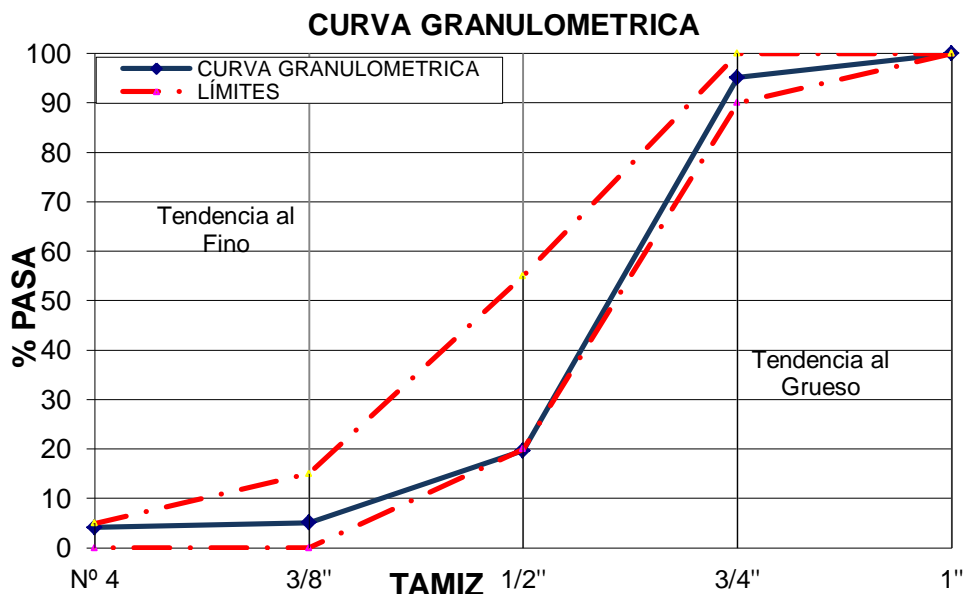
ENSAYO: 1 **MASA MUESTRA :** 10000 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	LIMITE ESP. 3/4"-3/8" NTE INEN 872 (ASTM C 33)
	PARCIAL(g)	ACUMULADO (g)	RETE NIDO	PASA	
2"	0	0	0	100	-
1 ^{1/2} "	0	0	0	100	-
1"	0	0	0	100	100
3/4 "	484	484	5	95	90 - 100
1/2"	7543	8027	80	20	20 - 55
3/8"	1460	9487	95	5	0 - 15.
Nº 4	93	9580	96	4	0 - 5
Nº 8	16	9596	96	4	-
Nº 16	18	9614	96	4	-
FUENTE	380	9994	100	0	-

Tamaño Nominal Máximo = 3/4"

Tamaño Máximo= 1"

Módulo de Finura= 6,88





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 13-may-13

ENSAYO: 2

MASA MUESTRA:

10000 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	LIMITE ESP. 3/4 “-3/8” NTE INEN 872(ASTM C33)
	PARCIA L(g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	PASA	
2”	0	0	0	100	-
1 1/2”	0	0	0	100	-
1”	0	0	0	100	100
3/4”	535	535	5	95	90 - 100
1/2”	8204	8739	87	13	20 - 55
3/8”	1040	9779	98	2	0 - 15.
Nº 4	67	9846	99	1	0 - 5
Nº 8	11	9857	99	1	-
Nº 16	16	9873	99	1	-
FUENTE	119	9992	100	0	-

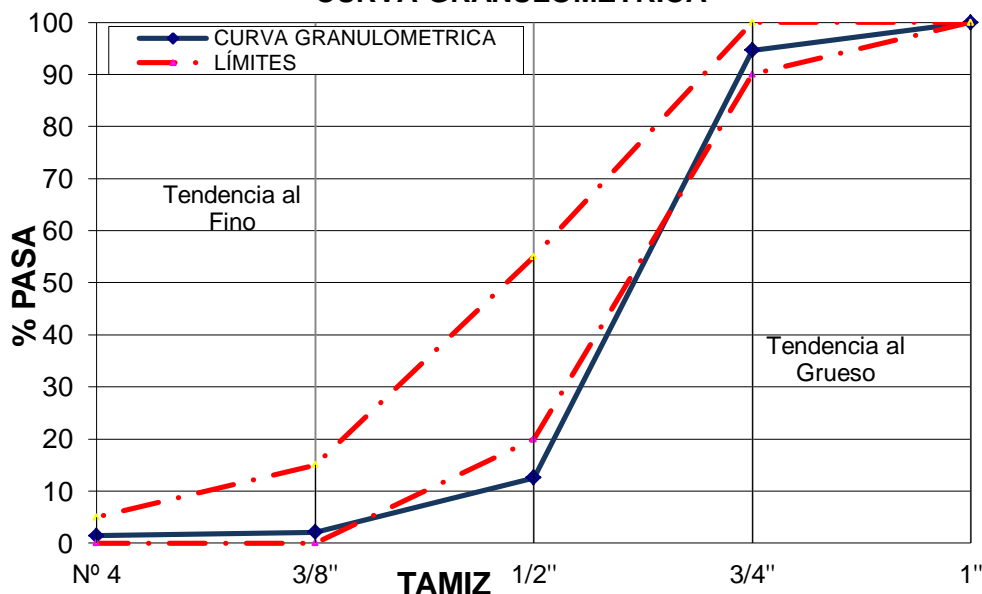
Tamaño Nominal Máximo= 3/4”

Tamaño Máximo=

1”

Módulo de Finura= 6,99

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE
CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA

ORIGEN: (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 15-may-13

ENSAYO: 3

MASA MUESTRA :

10000 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	LIMITE ESP. 3/4"-3/8" NTE INEN 872 (ASTM C33)
	PARCIAL (g)	ACUMULAD O (g)			
2"	0	0	0	100	-
1 1/2"	0	0	0	100	-
1"	0	0	0	100	100
3/4"	608	608	6	94	90 - 100
1/2"	7456	8064	81	19	20 - 55
3/8"	1715	9779	98	2	0 - 15.
Nº 4	187	9966	100	0	0 - 5
Nº 8	12	9978	100	0	-
Nº 16	5	9983	100	0	-
FUENTE	13	9996	100	0	-

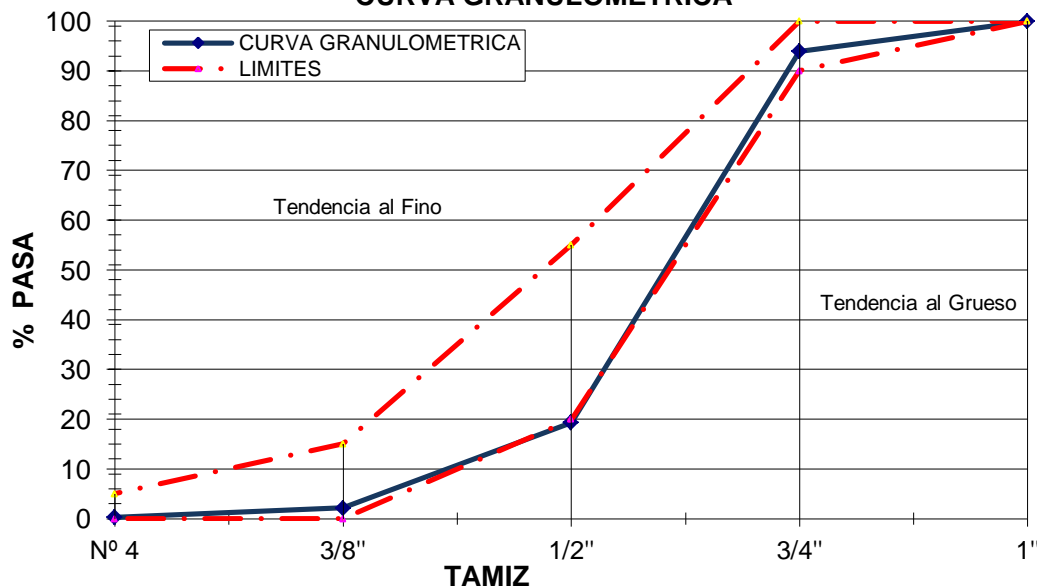
Tamaño Nominal Máximo= 3/4"

Tamaño Máximo=

1"

Módulo de Finura= 7,03

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 16-may-13

ENSAYO: 4 **MASA MUESTRA :** 10000 g

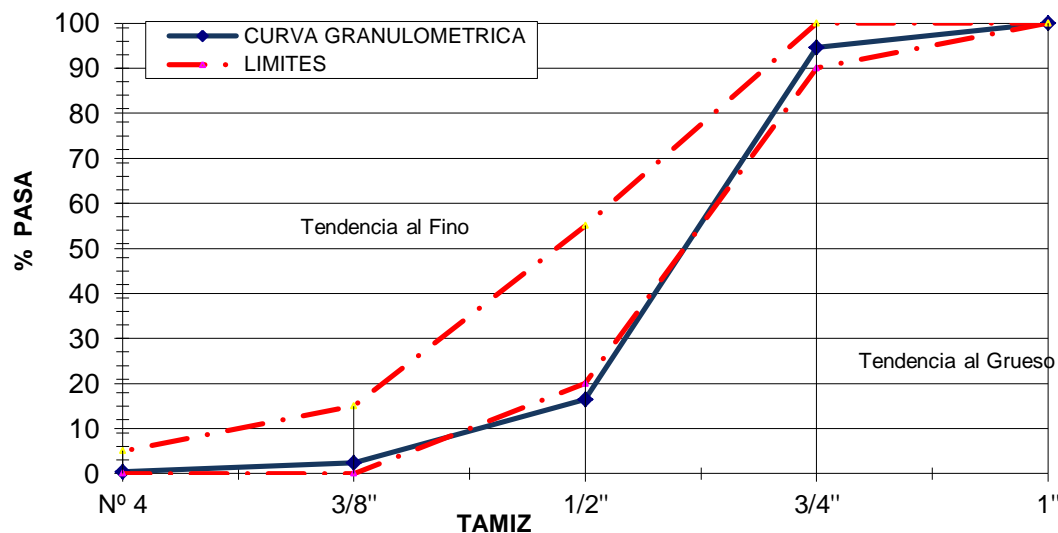
TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITE ESP. 3/4"-3/8" NTE INEN 872 (ASTM C33)
	PARCIAL (g)	ACUMULAD O (g)			
2"	0	0	0	100	-
1 1/2"	0	0	0	100	-
1"	0	0	0	100	100
3/4"	542	542	5	95	90 - 100
1/2"	7815	8357	84	16	20 - 55
3/8"	1404	9761	98	2	0 - 15.
Nº 4	202	9963	100	0	0 - 5
Nº 8	15	9978	100	0	-
Nº 16	7	9985	100	0	-
FUENTE	13	9998	100	0	-

Tamaño Nominal Máximo= 3/4"

Tamaño Máximo= 1"

Módulo de Finura= 7,02

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA CORREGIDA)

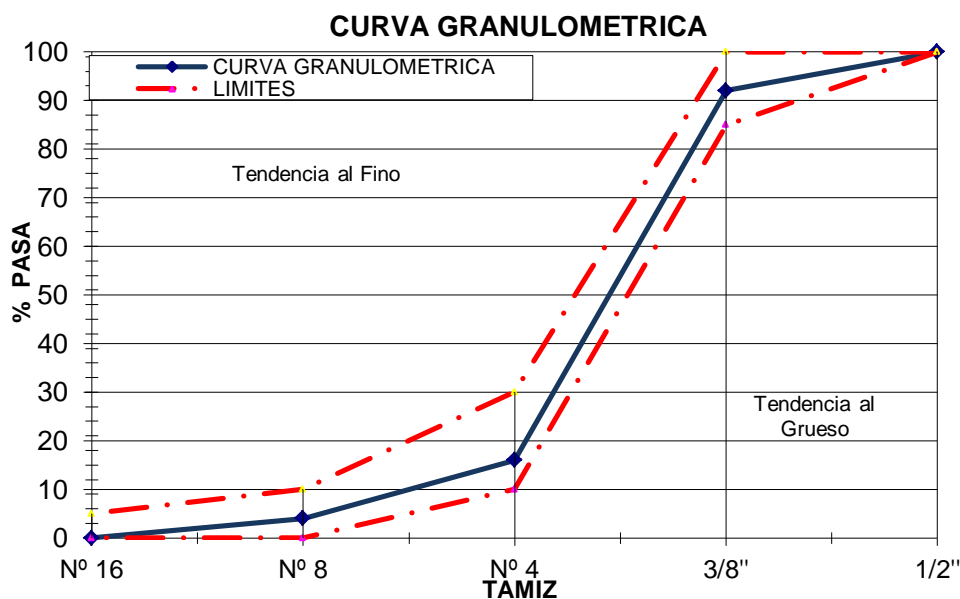
FECHA : 16-may-13

ENSAYO: 5 **MASA MUESTRA :** 10000 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	LIMITE ESP. 3/8"- N°8" NTE INEN 872(ASTM C33)
	PARCIA L (g)	ACUMULAD O (g)	RETENIDO	PASA	
2"	0	0	0	100	-
1 1/2"	0	0	0	100	-
1"	0	0	0	100	-
3/4"	0	0	0	100	-
1/2"	0	0	0	100	100
3/8"	800	800	8	92	85 - 100
N° 4	7600	8400	84	16	10 - 30
N° 8	1200	9600	96	4	0 - 10
N° 16	400	10000	100	0	0 - 5
FUENTE	0	10000	100	0	-

Tamaño Nominal Máximo= 3/8"
Módulo de Finura= 5,88

Tamaño Máximo= 1/2"





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 15-may-13

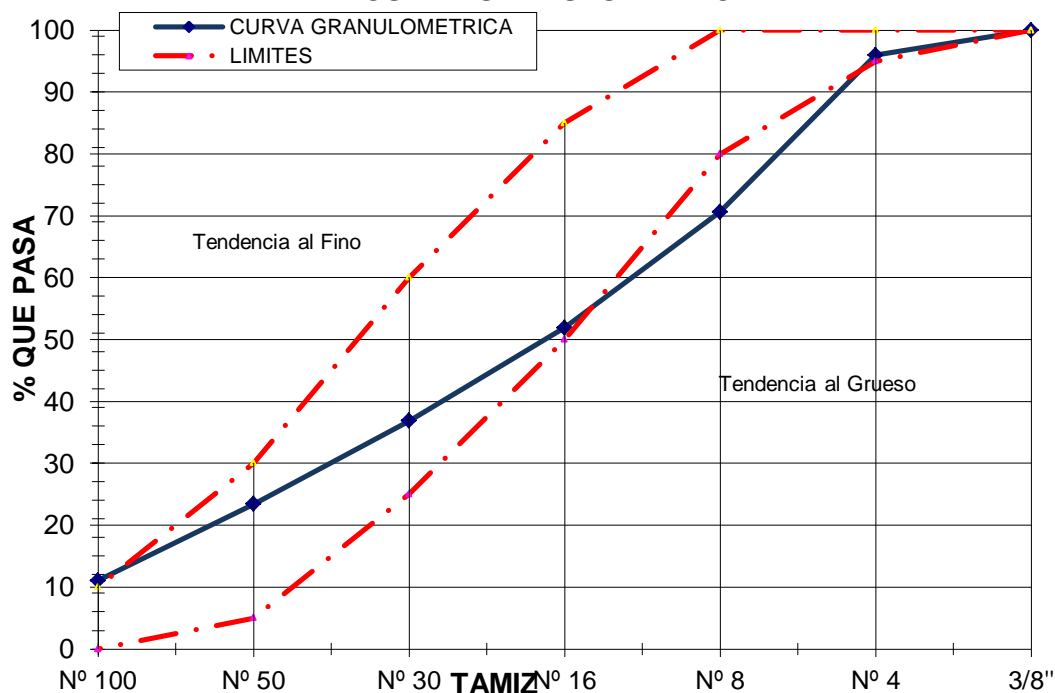
ENSAYO: 1

MASA MUESTRA : 600 g

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITE ESP. NTE INEN 872 (ASTM C33)
	PARCIAL(g)	ACUMULADO (g)			
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
Nº 4	24,2	24,2	4,0	96,0	95 - 100
Nº 8	151,4	175,6	29,4	70,6	80 - 100
Nº 16	112,0	287,6	48,1	51,9	50 - 85
Nº 30	89,9	377,5	63,1	36,9	25 - 60
Nº 50	80,6	458,1	76,6	23,4	5 - 30
Nº 100	73,7	531,8	88,9	11,1	0 - 10
Nº 200	48,2	580,0	97,0	3,0	-
FUENTE	17,9	597,9	100,0	0,0	-

Módulo de Finura= 3,10

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RÍO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 15-may-13

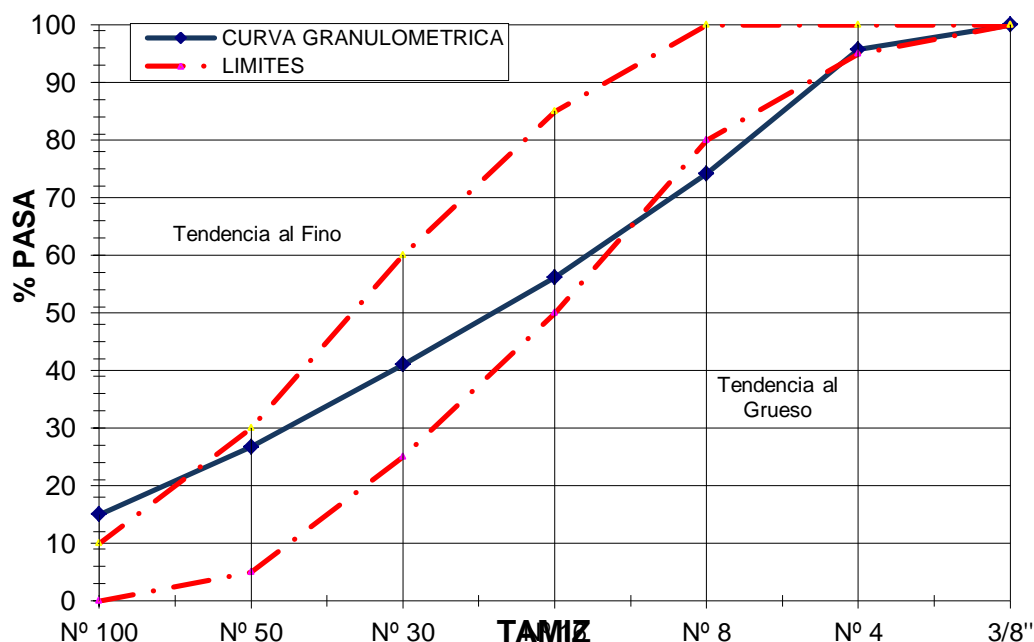
ENSAYO: 2

MASA MUESTRA : 455,7 g

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITE ESP. NTE INEN 872 (ASTM C33)
	PARCIAL(g)	ACUMULADO (g)			
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
Nº 4	19,3	19,3	4,2	95,8	95 - 100
Nº 8	98,0	117,3	25,8	74,2	80 - 100
Nº 16	81,8	199,1	43,8	56,2	50 - 85
Nº 30	69,1	268,2	59,0	41,0	25 - 60
Nº 50	64,8	333,0	73,3	26,7	5 - 30
Nº 100	53,2	386,2	85,0	15,0	0 - 10
Nº 200	50,5	436,7	96,1	3,9	-
FUENTE	17,7	454,4	100,0	0,0	-

Módulo de Finura= 2,91

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DE GRANULADOS FINOS

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA ORIGINAL)

FECHA : 13-may-13

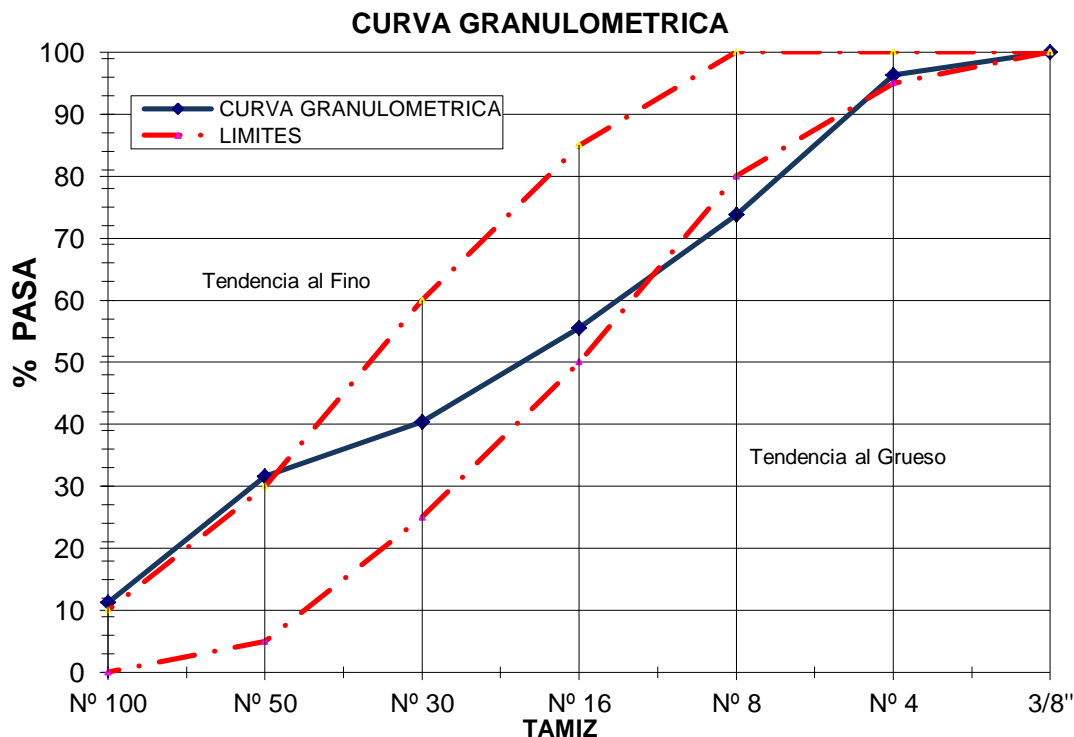
ENSAYO: 3

MASA MUESTRA :

600 g

TAMIZ	RETENIDO		%		LIMITE NTE INEN 872(ASTM C33)
	PARCIA L (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	PASA	
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
Nº 4	22,2	22,2	3,7	96,3	95 - 100
Nº 8	135,0	157,2	26,2	73,8	80 - 100
Nº 16	109,3	266,5	44,5	55,5	50 - 85
Nº 30	91,0	357,5	59,6	40,4	25 - 60
Nº 50	52,5	410,0	68,4	31,6	5 - 30.
Nº 100	122,1	532,1	88,8	11,2	0 - 10.
Nº 200	51,2	583,3	97,3	2,7	-
FUENTE	16,1	599,4	100,0	0,0	-

Módulo de Finura= 2,91





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DE GRANULADOS FINOS

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

ORIGEN: GUAYLLABAMBA

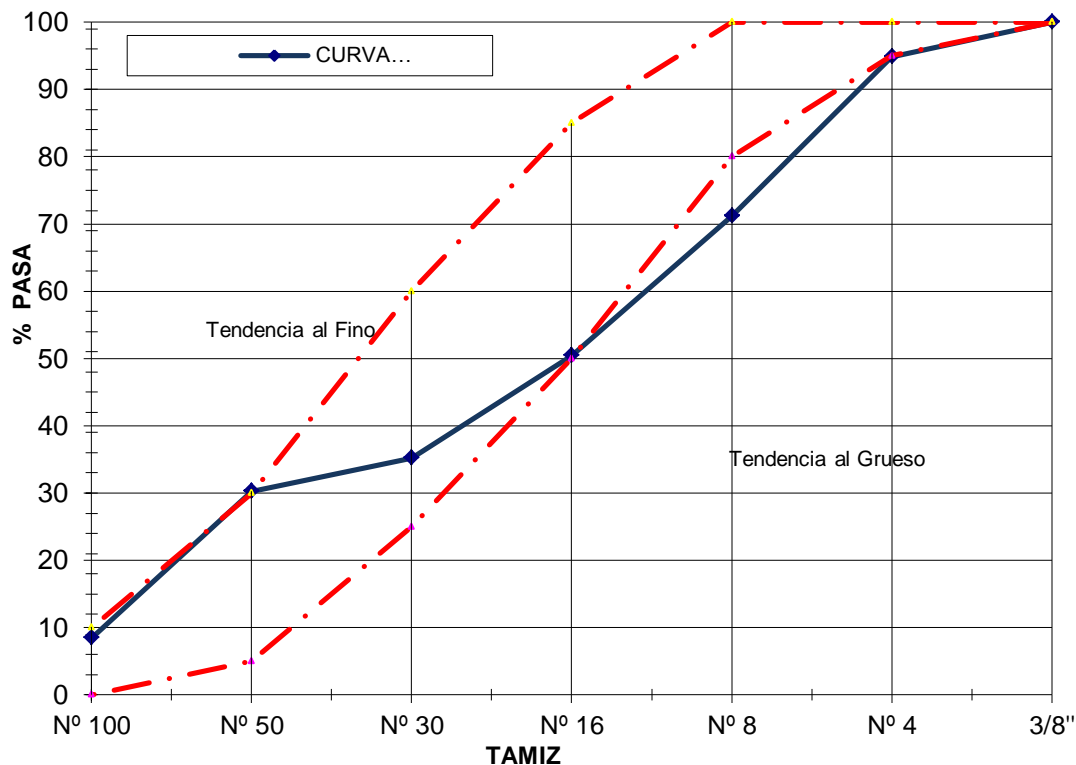
FECHA : 13-may-13

ENSAYO: 4 **MASA MUESTRA :** 600 g

TAMIZ	RETENIDO		%		LIMITE ESP.
	PARCIA L(g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	PASA	NTE INEN 872(ASTM C33)
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
Nº 4	30,7	30,7	5,1	94,9	95 - 100
Nº 8	142,1	172,8	28,8	71,2	80 - 100
Nº 16	124,2	297,0	49,6	50,4	50 - 85
Nº 30	91,1	388,1	64,8	35,2	25 - 60
Nº 50	29,7	417,8	69,7	30,3	5 - 30.
Nº 100	130,5	548,3	91,5	8,5	0 - 10.
Nº 200	41,5	589,8	98,5	1,5	-
FUENTE	9,2	599,0	100,0	0,0	-

Módulo de Finura= 3,10

CURVA GRANULOMETRICA





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

NORMA : NTE-INEN 696 (ASTM-C136)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

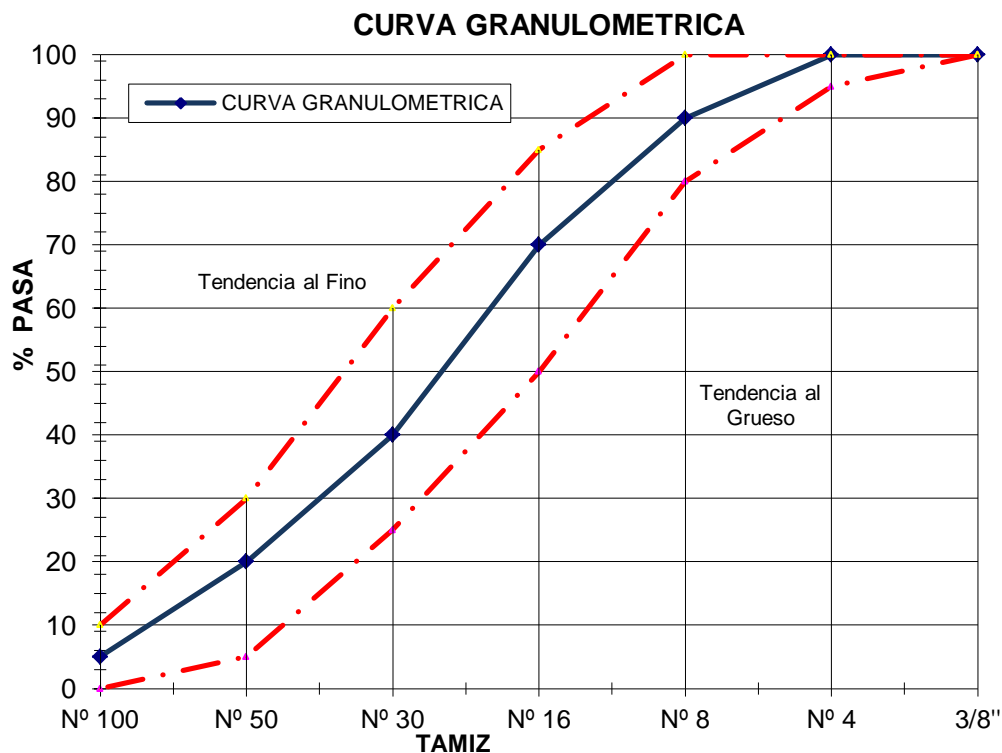
ORIGEN: CANTERA RIO GUAYLLABAMBA (GRANULOMETRIA CORREGIDA)

FECHA : 13-may-13

ENSAYO: 5 **MASA DE LA MUESTRA :** 600 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	LIMITE ESP.
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	PASA	NTE INEN 872 (ASTM C33)
3/8"	0,0	0,0	0,0	100,0	100
Nº 4	0,0	0,0	0,0	100,0	95 - 100
Nº 8	60,0	60,0	10,0	90,0	80 - 100
Nº 16	120,0	180,0	30,0	70,0	50 - 85
Nº 30	180,0	360,0	60,0	40,0	25 - 60
Nº 50	120,0	480,0	80,0	20,0	5 - 30.
Nº 100	90,0	570,0	95,0	5,0	0 - 10.
Nº 200	30,0	600,0	100,0	0,0	-
FUENTE	0,0	600,0	100,0	0,0	-

Módulo de Finura= 2,75



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA GRANULOMETRIA:

Agregado grueso:

En la granulometría del agregado grueso se puede ver que presenta un tamaño máximo nominal de 3/4", muy bueno para el hormigón que deseamos fabricar, pero aún mejorable, además se puede observar que en los tamices de 3/4" y 3/8", la curva granulométrica está dentro de los límites establecidos, pero en el tamiz 1/2" se presenta una tendencia al grueso (falta de finos), por ello, se ha decidido realizar las correcciones del caso, esto se realiza pesando la cantidad requerida en cada tamiz para cumplir con los requerimientos de granulometría, exigidos por la norma NTE INE 872 (ASTM C33), que para fabricar el hormigón de alta resistencia, deben ser rigurosamente controlados.

Con estos antecedentes para elaborar la mezcla se decidió utilizar el tamaño máximo nominal de 3/8", y además corrigiendo su granulometría (ver ensayos N°5), para que la curva se ajuste perfectamente dentro de la faja limite, puesto que como se indica en páginas anteriores, el hormigón cuando se fabrica con áridos más pequeños se vuelve más trabajable, debido a que aumenta la superficie específica del árido, a recubrir por el agua, característica que se vuelve fundamental en hormigón de alta resistencia.

Agregado Fino:

El agregado fino también se decidió corregir, puesto que como se observa en los diagramas, en los tamices N°4, N°8 y N°16 el agregado tenía un déficit de finos, y por el contrario, en las mallas N°50 y N° 100 el asunto se revirtió, teniendo un exceso de finos, por cuanto se procedió al tamizado total del agregado para dar cumplimiento excepcional a los límites establecidos en las normas.

Cabe indicar que, para el hormigón de alta resistencia, la falta de finos en los agregados en cierto porcentaje puede ser sustituida al momento de adicionar microsílíce, puzolanas, o escoria de altos hornos, en el cemento o en la mezcla, pero es ideal obtener la buena granulometría de los áridos con procesos preliminares y relativamente sencillos como es el presente caso.

Los ensayos N°5, tanto para el agregado grueso como para el fino corresponden a las granulometrías corregidas, diagramas en los cuales se ha adicionado finos o gruesos según haya sido requerido, y es la granulometría final con la que se fabricará el hormigón de alta resistencia.

Adicionalmente se debe mencionar que para la fabricación de hormigón, los áridos se mezclan formando un solo cuerpo, es por ello razonable considerar que a pesar de que los estudios granulométricos para árido fino y grueso se realizan separadamente, no se debe perder la concepción de uniformidad y continuidad para no traslapar los tamaños, es decir no puede existir, el mismo material en un tamiz determinado (la malla N° 8 por citar un ejemplo) tanto en arena como en ripio.

Tabla 14 Resumen de Propiedades de los Agregados														
Origen:		Cantera Río Guayllabamba												
Tratamiento Preliminar:		Material lavado y seleccionado												
Descripción	Ensayo N°	U.	1		2		3		4		5*		Valor Propiedad**	
			Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso	Fino	Grueso
Porcentaje de Abrasión 500 Revoluciones		%	-	28,00	-	28,30	-	27,50	-	-	-	-	-	27,93
Coeficiente de Uniformidad		-	-	0,25	-	0,26	-	0,25	-	-	-	-	-	0,25
Colorimetría		-	Fig. 1	-	Fig. 1	-	-	-	-	-	-	-	Fig. 1	
Peso Específico (Dsss)		g/cm3	2,53	2,59	2,55	2,59	2,55	2,58	2,55	2,60	-	-	2,55	2,59
Capacidad de Absorción		%	1,37	2,13	1,45	2,24	1,38	2,23	1,24	2,35	-	-	1,36	2,24
Contenido de Humedad***		%	0,31	0,49	0,34	0,51	0,29	0,47					0,31	0,49
Densidad Ap. Suelta		g/cm3	1,53	1,32	1,56	1,31	1,56	1,32	1,62	1,34	-	-	1,57	1,32
Densidad Ap. Compactada		g/cm3	1,61	1,46	1,63	1,42	1,62	1,44	1,69	1,52	-	-	1,64	1,46
Densidad Óptima de Mezcla Agreg.		g/cm3	1,92		1,92		1,92		1,95		-		1,93	
Porcentaje en Mezcla de Agregados		%	30	70	30	70	30	70	30	70	-	-	30	70
Tamaño Máximo Nominal TMN		pulg	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/4	-	3/8	-	3/4
Módulo de Finura MF		-	3,10	6,88	2,91	6,99	2,91	7,03	3,10	7,02	2,75	5,88	3,01	6,98

*Los datos en el ensayo N° 5 fueron realizados con la corrección de granulometría, para las mezclas que se fabriquen con TNM= 3/8 pulg se utilizará estos valores, no se utilizará el promedio de la columna Valor propiedad

** Los datos de la columna Valor Propiedad, se han obtenido sacando el promedio de los resultados de los ensayos de cada propiedad, y se utilizarán en las dosificaciones correspondientes.

*** En los ensayos para determinar el contenido de humedad, se considera que durante la investigación los agregados van a mantenerse en las mismas condiciones de humedad, es por ello que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar que se presenten variaciones.

Elaborado por: MOYANO, J., Enero /2014

CAPITULO IV: EL CEMENTO

4.1 Propiedades Físicas y Mecánicas del Cemento Armaduro Especial de la línea Lafarge.

El cemento debe reunir los requisitos de las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN 152 y 490, requisitos para cemento portland, requisitos para cemento hidráulicos compuestos, en nuestro caso utilizaremos un cemento portland puzolánico.

Cemento Armaduro

Es un cemento hidráulico portland puzolánico compuesto tipo IP, su especialidad es para fabricar hormigones de alta resistencia inicial.

Cumple con los requerimientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490 y ASTM C 595, para un cemento tipo IP, cuya calidad está avalada con el respaldo de la línea LAFARGE.

Es especialista para aplicaciones de prefabricación de todos los tipos (losas, vigas, postes, bordillos, tubos, adoquines, bloques, etc.)

Características principales:

Altas resistencias mecánicas a edades tempranas.

Fraguado rápido que permite acelerar los ciclos de producción.

Figura 28 Cemento armaduro especial de la línea Lafarge en una presentación en sacos de 50kg



Fuente: <http://www.lafarge.com.ec>

Las especificaciones para el cemento portland en su mayoría se limitan a su composición química y propiedades físicas, se debe tener claras sus propiedades, para poder interpretar adecuadamente los ensayos que se realizan con el, cabe recalcar que estos ensayos tienen el fin de evaluar directamente al cemento, más que al hormigón preparado con el mismo.

Ensayos del Cemento

En el polvo: densidad (real), finura, composición química

En la pasta: consistencia normal, tiempo de fraguado, estabilidad volumétrica, calor de hidratación, poder de retención de agua, etc.

En el mortero: resistencia a la compresión, flexotracción, deformaciones - cambios volumétricos.

A continuación se presentan las propiedades determinadas para el cemento armado, en el departamento de ensayo de materiales y modelos de la Universidad Central del Ecuador.

4.1.1 Densidad del Cemento.

La densidad se la define como la relación entre la masa y el volumen.

Para los cementos portland la densidad está alrededor de $3,15 \text{ gr/cm}^3$, y para los cementos portland puzolánicos y de escoria de altos hornos están alrededor de $2,90 \text{ gr/cm}^3$.

Se utilizaron dos métodos para determinar la densidad del cemento:

- Método del Frasco Volumétrico de Le Chatelier
- Método del Picnómetro

Los ensayos se realizaron siguiendo la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 156, Determinación de la Densidad, 2009), se presenta a continuación los resultados obtenidos:



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA : NTE-INEN 156 (ASTM C-188).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL
CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

TIPO : CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO

FECHA : 27-may-13

ENSAYO: 1

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNOMETRO

Nº	DESCRIPCION	
1	MASA DE PICNOMETRO VACIO	173,7 g
2	MASA DEL PICNOMETRO + CEMENTO	398,1 g
3	MASA DEL CEMENTO	224,4 g
4	MASA DE PICNOMETRO + CEMENTO + GASOLINA	708,9 g
5	MASA DE PICNOMETRO + 500cm ³ DE GASOLINA	540,5 g
6	DENSIDAD DE LA GASOLINA	0,7336 g / cm ³
7	MASA DE GASOLINA	310,8 g
8	VOLUMEN DE LA GASOLINA	423,7 cm ³
9	DENSIDAD DEL CEMENTO	2,94 g / cm ³

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATTELIER

Nº	DESCRIPCION	
1	LECTURA INICIAL DEL FRASCO DE LECHATTELLIER + GASOLINA	0,80 ml
2	MASA DEL FRASCO + GASOLINA	323,4 g
3	LECTURA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	21,20 ml
4	MASA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	385,9 g
5	DENSIDAD DEL CEMENTO	3,06 g / cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA : NTE-INEN 156 (ASTM C-188).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL
CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE
CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO DE

TIPO : LAFARGE

FECHA : 31-may-13

ENSAYO: 2

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNOMETRO

Nº	DESCRIPCION	
1	MASA DE PICNOMETRO VACIO	173,6 g
2	MASA DEL PICNOMETRO + CEMENTO	400,4 g
3	MASA DEL CEMENTO	226,8 g
4	MASA DE PICNOMETRO + CEMENTO + GASOLINA	711,5 g
5	MASA DE PICNOMETRO + 500cm ³ DE GASOLINA	540,4 g
6	DENSIDAD DE LA GASOLINA	0,7336 g / cm ³
7	MASA DE GASOLINA	311,1 g
8	VOLUMEN DE LA GASOLINA	424,1 cm ³
9	DENSIDAD DEL CEMENTO	2,99 g / cm ³

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATTELIER

Nº	DESCRIPCION	
1	LECTURA INICIAL DEL FRASCO DE LECHATTELLIER + GASOLINA	0,50 ml
2	MASA DEL FRASCO + GASOLINA	323,8 g
3	LECTURA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	19,90 ml
4	MASA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	382,7 g
5	DENSIDAD DEL CEMENTO	3,04 g / cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DE DENSIDAD DEL CEMENTO

NORMA : NTE-INEN 156 (ASTM C-188).

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL
CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

TIPO : CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO

FECHA : 03-jun-13

ENSAYO: 3

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL PICNOMETRO

Nº	DESCRIPCION	
1	MASA DE PICNOMETRO VACIO	173,5 g
2	MASA DEL PICNOMETRO + CEMENTO	398,9 g
3	MASA DEL CEMENTO	225,4 g
4	MASA DE PICNOMETRO + CEMENTO + GASOLINA	710,2 g
5	MASA DE PICNOMETRO + 500cm ³ DE GASOLINA	540,4 g
6	DENSIDAD DE LA GASOLINA	0,7338 g / cm ³
7	MASA DE GASOLINA	311,3 g
8	VOLUMEN DE LA GASOLINA	424,2 cm ³
9	DENSIDAD DEL CEMENTO	2,97 g / cm ³

DENSIDAD ABSOLUTA CON EL FRASCO DE LECHATLIER

Nº	DESCRIPCION	
1	LECTURA INICIAL DEL FRASCO DE LECHATLIER + GASOLINA	0,50 ml
2	MASA DEL FRASCO + GASOLINA	325,2 g
3	LECTURA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	21,40 ml
4	MASA FINAL DEL FRASCO + CEMENTO + GASOLINA	388,6 g
5	DENSIDAD DEL CEMENTO	3,03 g / cm ³

4.1.2 Finura

Se define como la medida del tamaño de las partículas de cemento.

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación, a mayor finura, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia, se manifiestan principalmente durante los primeros días.

La finura se expresa como porcentaje corregido del material que pasa el tamiz No.325, (45 micras), se conoce que aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de cemento son menores de 45 micras, además la finura también puede expresarse en términos de superficie específica o de Blaine.⁵⁴

Existen varios procedimientos normados, para la determinación de la finura del cemento, dentro de los que podemos mencionar los siguientes, con sus respectivas denominaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana:

- (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 196-2 Rev,Cemento Hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de Blaine de permeabilidad al aire, 2009).
- (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 197-2 Rev,Cemento portland. Determinación de la finura por el método del turbidímetro, 2010)
- (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 489-2 Rev, Cemento Hidráulico, Determinación de la Finura por tamizado seco, 2013).
- (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 957-3 Rev, Cemento Hidráulico, Determinación de la Finura mediante el tamiz de 45um (No.325), 2012).
- (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2652, Determinación de la Finura del Cemento Hidráulico y materia prima mediante los tamices de 300um (No.50), 150um(No.100), 75um (No.200), por el método húmedo, 2012).

Se ha realizado los ensayos siguiendo las normas NTE INEN 489 y NTE INEN 957, a continuación se presentan los resultados obtenidos:

⁵⁴ <http://descom.jmc.utfsm.cl/proi/materiales/CEMENTO/CEMENTO.htm>



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA FINURA POR
TAMIZADO SECO**

NORMA : NTE-INEN 489:2013-2 Rev.

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA
LINEA LAFARGE

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DEFABRICACION :	4 de Julio del 2013	HORA :	11:30:00
FECHA DE MUESTREO :	8 de Julio del 2013		
FECHA DE ENSAYO :	8 de Julio del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :	22 ° C		
CÁLCULOS			
F = 100 - [(Rs x 100)/m]			
F = finura del cemento expresado como el porcentaje que pasa a través del tamiz de 75 μm (No. 200),			
Rs = Residuo de la muestra, retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200), en gramos.			
m = masa de la muestra de ensayo, en gramos.			
Determinación de la Finura del cemento; Resultados			
ENSAYO No.	1	2	3
m	50,0 g	50,0 g	50,0 g
Rs	2,49 g	2,45 g	2,41 g
F	95,0 %	95,1 %	95,2 %
Fprom	95,1 %		



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO MEDIANTE EL TAMIZ DE 45um (No. 325)

NORMA : NTE-INEN 957: 2012 -3 Rev.

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59\text{MPa}$)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DEFABRICACIÓN :	4 de Julio del 2013	HORA :	8:00:00
FECHA DE MUESTREO :	8 de Julio del 2013		
FECHA DE ENSAYO :	8 de Julio del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :	21 ° C		
CÁLCULOS			
Rc = Rs x (100 + C)			
F = 100 - Rc			
F = Finura del cemento expresada como el porcentaje corregido que pasa por el tamiz de 45 um (No. 325)			
Rc = Residuo corregido , %			
Rs = Residuo de la muestra retenida sobre el tamiz de 45 um (No. 325) g, y			
C =Factor de corrección del tamiz (determinado como se indica en el numeral 3.3) el cual puede ser positivo o negativo.			
Determinación de la Finura del cemento; Resultados			
ENSAYO No	1	2	3
C	37,6 %	35,8 %	37,3 %
Rs	0,047 g	0,042 g	0,054 g
Rc	4,7 %	4,2 %	5,4 %
F	95,3 %	95,8 %	94,6 %
F _{prom}	95,2 %		

4.1.3 Superficie Específica.

La superficie específica o finura Blaine es el área superficial de las partículas de una masa unitaria de cemento portland, determinada con ayuda del permeabilímetro de Blaine.

El procedimiento para medir la finura en términos de superficie específica se encuentra en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 196-2 Rev, Cemento Hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de Blaine de permeabilidad al aire, 2009), según este procedimiento la determinación de la finura del cemento se basa en que la velocidad de paso del aire a través de una capa de dicho material, con determinada porosidad, es función del número y del tamaño de los poros existentes en la capa, los cuales dependen del tamaño de las partículas del material y por lo tanto de su superficie específica.⁵⁵

Un valor referencial para la superficie específica del cemento armaduro, se presenta en el Anexo 13, cuyo valor es $3450 \text{ cm}^2 / \text{gr}$, o lo que es lo mismo en las unidades exigidas por la norma NTE INEN 490, la superficie específica del cemento armaduro especial es $345 \text{ m}^2 / \text{Kg}$, se debe destacar que dicha normativa no establece límites para la superficie específica de los cementos hidráulicos compuestos, pero a buen saber se tiene que entre mayor superficie específica, mayor finura e hidratación más rápida de las partículas de cemento por cuanto adquiere mayor resistencia a menor edad.

4.1.4 Muestra Patrón.

Es la muestra empleada en la calibración del permeabilímetro de Blaine para determinar la finura en términos de superficie específica y que debe cumplir todos los requisitos exigidos por el INEN.

⁵⁵ (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 196-2 Rev, Cemento Hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de Blaine de permeabilidad al aire, 2009, pág. 1)

4.1.5 Consistencia Normal

Según la definición brindada por la NTE INEN 151-2 Rev. (2009):

“La consistencia normal es el grado de plasticidad de una pasta de cemento hidráulico que es apropiada para ensayar y medir por un método estipulado”.

El método para su determinación se encuentra indicado en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 157-2 Rev; cemento hidráulico; determinación de la Consistencia Normal; método Vicat, 2009), cuyo resultado es reportado como la masa de agua requerida para para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato Vicat penetre $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ durante 30 segundos en la pasta de cemento, después de haberse iniciado la prueba, dividido para la masa del cemento hidráulico, expresada en porcentaje.

La consistencia normal es un parámetro que sirve de referencia para la determinación de la resistencia a la tensión, tiempos de fraguado, sanidad del cemento, expansión en autoclave, etc.⁵⁶

⁵⁶ (CONRADO & ROJAS, 2012, pág. 90)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA NORMAL. METODO DE VICAT.

NORMA : NTE-INEN 157: 2009-2 Rev.

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59 \text{ MPa}$)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO				
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.				
FECHA DEFABRICACIÓN	4 de Julio del 2013	HORA	8:30:00		
FECHA DE MUESTREO :	10 de Julio del 2013				
FECHA DE ENSAYO :	10 de Julio del 2013				
TEMPERATURA LABORATORIO :		21 ° C			
TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLADO:		20 ° C			
CÁLCULOS :					
FÓRMULA :					
$C(\%) = \frac{m_a}{m_c} \times 100$					
RESULTADOS					
<div>DATOS</div> <div>ENSAYO</div>		U	1	2	3
Masa del agua requerida para la consistencia normal :	ma	(g)	175,5	177,2	174,6
Masa del cemento :	mc	(g)	650,0	650,0	650,0
Consistencia normal :	C	(%)	27,0	27,3	26,9
				PROM:	27,0

4.1.6 Resistencia Cúbica de los morteros de cemento.

La resistencia a la compresión, tal como lo especifica la norma ASTM C 150, es la capacidad que tienen los cubos de mortero de cemento estándar de 5 cm de lado para soportar los esfuerzos de compresión, ensayados de acuerdo a la norma ASTM C 109. Estos cubos se hacen y se curan de manera prescrita y utilizando una arena estándar.

Según la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490-5 Rev.Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011), para el cemento armado que es un cemento hidráulico compuesto portland puzolánico tipo IP, se especifican las resistencias indicadas a continuación con sus respectivas edades:

Tabla 15 Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para morteros cemento portland puzolánico tipo IP

EDAD	Requisitos de Resistencia NTE	
	INEN 490-5Rev. (2009)	
Días	Mpa	% Respecto a los 28 días
3	13,00	52,00
7	20,00	80,00
28	25,00	100,00

Fuente: Adaptado de (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490-5 Rev.Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009 -2Rev.

ENSAYO : 1

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DE ADQUISICION :	11 de Septiembre del 2013	HORA :	8:00:00
FECHA DE REALIZACION	13 de Septiembre del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :	20 ° C		

<i>ESPECIFICACIONES</i>		<i>ENSAYO DE FLUJO EN CUBOS</i>		
CEMENTO :	740,0 g	DIAMETRO 1	27,0 %	
ARENA NORMALIZADA	2035,0 g	DIAMETRO 2	26,5 %	
AGUA :	340,0 g	DIAMETRO 3	26,5 %	
No. CUBOS :	9 u	DIAMETRO 4	26,5 %	
		SUMATORIA :	106,5 %	ACEPTABLE

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS

16 DE SEPTIEMBRE DEL 2013

1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
7	51	51,0	50,0	287,70	3400	2601,00	12,81
8	51	51,0	50,0	289,40	3490	2601,00	13,15
9	52	52,0	52,0	287,40	3370	2704,00	12,21
PROM=						2635,33	12,72



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009 -2Rev.

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
20 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
1	52	52,0	52,0	287,70	4660	2704,00	16,89
3	52	51,5	52,0	289,40	4780	2678,00	17,49
6	51	52,0	52,0	287,40	4430	2652,00	16,37
PROM=						2678,00	16,92

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
11 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
2	50	51,0	51,0	293,00	6210	2550,00	23,87
4	51	50,0	51,0	294,00	7530	2550,00	28,94
5	51	50,0	52,0	293,00	7240	2550,00	27,82
PROM=						2550,00	26,88



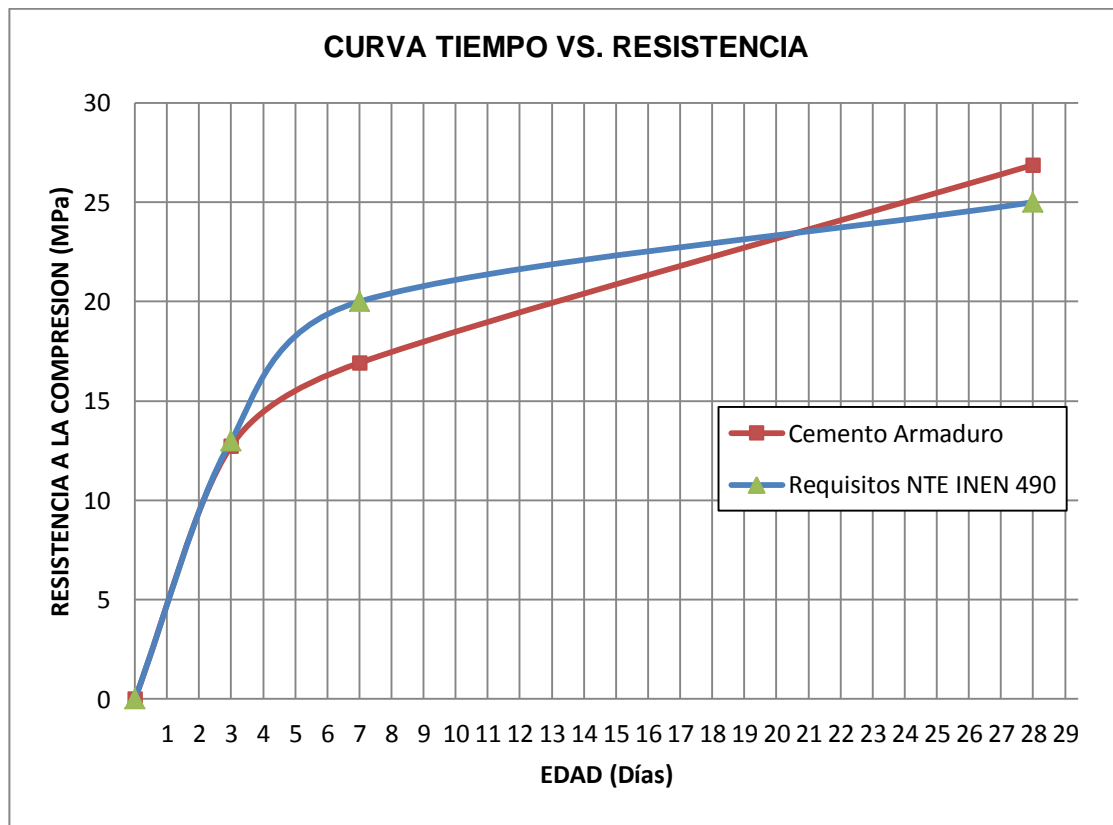
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009 -2 Rev.

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})				
Días	Resultados Obtenidos			Requisitos de Resistencia NTE INEN 490-5Rev. (2011)	
	Kg/cm ²	Mpa	% Respecto a los 28 días	Mpa	% Respecto a los 28 días
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
3	2635,33	12,72	47,34	13,00	52,00
7	2678,00	16,92	62,94	20,00	80,00
28	2550,00	26,88	100,00	25,00	100,00





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009 -5Rev.

ENSAYO: 2

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DE ADQUISICION :	11 de Septiembre del 2013	HORA :	8:00:00
FECHA DE REALIZACION	16 de Septiembre del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :	20 ° C		

<i>ESPECIFICACIONES</i>		<i>ENSAYO DE FLUJO EN CUBOS</i>		
CEMENTO :	740,0 g	DIAMETRO 1	27,4 %	
ARENA NORMALIZADA:	2035,0 g	DIAMETRO 2	26,7 %	
AGUA :	340,0 g	DIAMETRO 3	27,0 %	
No. CUBOS :	9 u	DIAMETRO 4	26,6 %	
		SUMATORIA :	107,7 %	ACEPTABLE

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
19 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
7	50	51,0	50,0	287,30	3450,0	2550	13,26
8	51	51,0	50,0	287,20	3460,0	2601	13,04
9	51	51,0	51,0	287,10	3410,0	2601	12,85
PROM=						2584	13,05



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009 -2Rev.

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
23 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
1	51	51,0	50,0	287,40	4970,0	2601,00	18,73
3	51	52,0	52,0	288,30	4980,0	2652,00	18,40
6	50	51,0	51,0	287,20	4990,0	2550,00	19,18
PROM=						2601,00	18,77

RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
14 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
CUBO N°	DIMENSIONES DEL CUBO			PESO	CARGA DE FALLA	AREA	RESISTENCIA A LA COMPRESION
	LADO A	LADO B	LADO C				
	mm	mm	mm	g	kg	mm ²	MPa
2	52	51,0	51,0	295,00	7210,0	2652,00	26,64
4	51	51,0	51,0	295,00	7380,0	2601,00	27,81
5	51	52,0	52,0	296,00	7310,0	2652,00	27,01
PROM=						2635,00	27,15



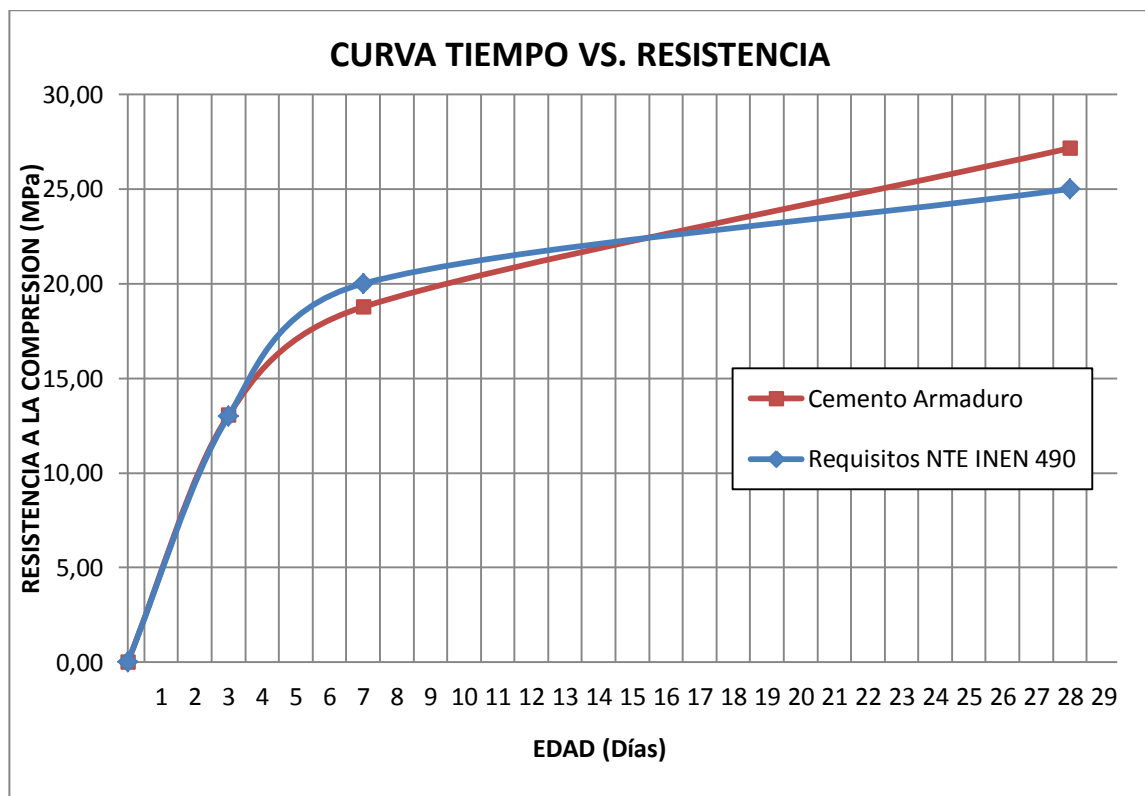
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

ENSAYO DEL CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA

TEMA: HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 488:2009- 2R

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)				
Días	Resultados Obtenidos			Requisitos NTE INEN 490-5Rev. (2011)	
	Kg/cm2	Mpa	% Respecto a los 28 días	Mpa	% Respecto a los 28 días
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
3	2584,00	13,05	48,05	13,00	52,00
7	2601,00	18,77	69,12	20,00	80,00
28	2635,00	27,15	100,00	25,00	100,00



4.1.7 Tiempo de fraguado del cemento

Para determinar si un cemento fragua de acuerdo con los tiempos especificados en la norma NTE INEN 490-(2011), se efectúan pruebas usando el aparato de Vicat NTE INEN 158-(2009) o la aguja de Gillmore NTE INEN 159-(2010). El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto, de forma similar el fraguado final tampoco debe ocurrir demasiado tarde.

Para el cemento armaduro que es un cemento portland puzolánico tipo IP, se especifica un fraguado no menor a 45 minutos y no mayor a 7 horas.

Los tiempos de fraguado indican, si la pasta se encuentra desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso regula el tiempo de fraguado en el cemento. También influyen sobre el tiempo de fraguado la finura del cemento, la relación agua-cemento, y los aditivos usados.



**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE PASTA DE
CEMENTO HIDRAÚLICO, MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE.**

NORMA : NTE-INEN 159 : 2010

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa) UTILIZANDO
EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

MARCA : LAFARGE

TIPO: CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP

RESULTADOS

Fecha de Fabricación :	4 Julio del 2013			
Fecha de muestreo :	12 Julio del 2013			
Fecha del ensayo :	12 Julio del 2013			
DESCRIPCION	UNIDAD	ENSAYO		
		1	2	3
Consistencia normal del cemento	%	27,0 %	27,0 %	27,0 %
Hora inicial del ensayo	h : min	9:00	8:30	9:15
Hora inicial del fraguado del cemento	h : min	11:20	10:55	11:30
Tiempo de fraguado inicial del cemento	h : min	2:20	2:25	2:15
Hora final del fraguado del cemento	h : min	14:10	13:45	14:20
Tiempo de fraguado final del cemento	h : min	5:10	5:15	5:05



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT

NORMA : NTE INEN 158:2009-2 Rev.

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59 \text{ MPa}$)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

TIPO DE CEMENTO :	PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :	Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DEFABRICACION :	4 de Julio del 2013	HORA :	8:30:00
FECHA DE MUESTREO :	12 de Julio del 2013	No. ENSAYO :	1
FECHA DE ENSAYO :	12 de Julio del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :	22 ° C		
TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLADO:	20 ° C		

CALCULOS :

FORMULA:

$$T. \text{ fraguado inicial} = \left(\left(\frac{H-E}{C-D} \right) * (C - 25) \right) + E$$

RESULTADOS

DATOS \ ENSAYO	UNIDAD	1	2	3
Tiempo en minutos de la última penetración mayor que 25 mm,	E (min)	137	136	138
Tiempo en minutos de la primera penetración menor que 25 mm,	H (min)	140	140	142
Lectura de penetración al tiempo E, y	C (mm)	26	26	25
Lectura de penetración al tiempo H.	D (mm)	23	22	20
T. Fraguado Inicial	T. F. I.	138	137	138
T. Fraguado Final	T. F .F.	302	298	300

4.1.8 Contenido de aire

El contenido de aire de un mortero de cemento se debe realizar para evaluar si dicho cemento cumple con los requerimientos de incorporación de aire, establecidos en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490-5 Rev.Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011), o a su vez en los requisitos establecidos en la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 152-5 Rev,Cemento portland. Requisitos, 2012).

En este caso para el cemento armaduro que es un cemento portland puzolánico tipo IP, el volumen máximo de aire que puede contener es del 12%, no existe un valor límite inferior, así que cuanto menor sea esta cantidad de aire mejor será el desarrollo de resistencia a la compresión por la menor cantidad de vacíos en la mezcla.

Es importante indicar que el contenido de aire en el hormigón está influenciado por muchos otros factores, distintos del potencial del cemento para incorporar aire.

A continuación se presentan los ensayos realizados para determinar el contenido de aire siguiendo el procedimiento establecido en la norma (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 195-2Rev. Cemento Hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros., 2009).



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 195:2009-2 Rev.

ENSAYO: 1

TIPO DE CEMENTO :		PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO		
PROCEDENCIA :		Planta Selva Alegre S.A.		
FECHA DE ADQUISICION :		11 de Septiembre del 2013	HORA :	8:30:00
FECHA DE REALIZACION		19 de Septiembre del 2013		
TEMPERATURA LABORATORIO :		20 ° C		
ESPECIFICACIONES		FLUJO PARA CONTENIDO DE AIRE		
CEMENTO :	350,0 g	DIAMETRO 1	21,0 %	
ARENA NORMALIZADA	1400,0 g	DIAMETRO 2	22,8 %	
AGUA :	310,0 g	DIAMETRO 3	22,1 %	
		DIAMETRO 4	19,5 %	
		SUMATORIA :	85,4 %	ACEPTABLE
En norma se debe producir un flujo :		$87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$		
CALCULOS				

Masa del cilindro vacío: MC	696,1 g
Masa del cilindro + Mortero: MM	1526,0 g
Masa del Mortero : W = MM - MC	829,9 g
Relación A/C: P	0,886

CONTENIDO DE AIRE (%)	
<p>Dónde :</p> <p>Contenido de aire, volumen (%) = $100 - W \frac{(182,7 + P)}{(2000 + 4P)}$</p> <p>W = masa para 400 cm³ de mortero, g .</p> <p>P = valor del porcentaje de agua de mezclado, basado en la masa de cemento utilizado</p>	$= 100 - 829,90 \left(\frac{182,70 + 88,57}{2000,00 + 4 \times 88,57} \right)$ <p>Contenido de aire , volumen = 4,38 %</p>



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

**CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE EN
MORTEROS**

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 195:2009-2 Rev.

ENSAYO : 2

TIPO DE CEMENTO :		PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO			
PROCEDENCIA :		Planta Selva Alegre S.A.			
FECHA DE ADQUISICION :		11 de Septiembre del 2013		HORA :	8:00:00
FECHA DE REALIZACION		20 de Septiembre del 2013			
TEMPERATURA LABORATORIO :		20 ° C			
ESPECIFICACIONES			FLUJO PARA CONTENIDO DE AIRE		
CEMENTO :		350,0 g		DIAMETRO 1	22,0 %
ARENA NORMALIZADA		1400,0 g		DIAMETRO 2	22,7 %
AGUA :		315,0 g		DIAMETRO 3	22,9 %
				DIAMETRO 4	21,3 %
				SUMATORIA :	88,9 %
				ACEPTABLE	
En norma se debe producir un flujo: 87 $\frac{1}{2}$ % \pm 7 $\frac{1}{2}$ %					
CALCULOS					

Masa del cilindro vacío: MC	696,1 g
Masa del cilindro + Mortero: MM	1524,0 g
Masa del Mortero: W = MM - MC	827,9 g
Relación A/C: P	0,900

CONTENIDO DE AIRE (%)	
<p>Contenido de aire, volumen (%)</p> <p>Dónde :</p> <p>$W =$ masa para 400 cm³ de mortero, g.</p> <p>$P =$ valor del porcentaje de agua de mezclado, basado en la masa de cemento utilizado</p>	$= 100 - W \frac{(182,7 + P)}{(2000 + 4P)}$
<p>Contenido de aire, volumen (%)</p>	$= 100 - 827,90 \left(\frac{182,70 + 90,00}{2000,0 + 4 \times 90,00} \right)$ <p style="text-align: center;">Contenido de aire , volumen = 4,34 %</p>



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

CEMENTO HIDRAULICO. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS

TEMA: HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c=59\text{MPa}$) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LA LINEA LAFARGE

NORMA : NTE-INEN 195:2009-2 Rev.

ENSAYO : 3

TIPO DE CEMENTO :		PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP, ARMADURO			
PROCEDENCIA :		Planta Selva Alegre S.A.			
FECHA DE ADQUISICION :		11 de Septiembre del 2013		HORA :	8:00:00
FECHA DE REALIZACION		23 de Septiembre del 2013			
TEMPERATURA LABORATORIO :			20 ° C		
ESPECIFICACIONES			FLUJO PARA CONTENIDO DE AIRE		
CEMENTO :		350,0 g	DIAMETRO 1	19,5 %	
ARENA NORMALIZADA		1400,0 g	DIAMETRO 2	22,4 %	
AGUA :		305,0 g	DIAMETRO 3	21,9 %	
			DIAMETRO 4	19,5 %	
			SUMATORIA :	83,3 %	
En norma se debe producir un flujo : $87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$					
CALCULOS					

Masa del cilindro vacío : MC	696,1 g
Masa del cilindro + Mortero : MM	1523,0 g
Masa del Mortero : W = MM - MC	826,9 g
Relación A/C : P	0,871

CONTENIDO DE AIRE (%)	
<p style="text-align: center;">Contenido de aire, volumen (%) $= 100 - W \frac{(182,7 + P)}{(2000 + 4P)}$</p> <p>Dónde</p> <p>W = masa para 400 cm³ de mortero, g.</p> <p>P = valor del porcentaje de agua de mezclado, basado en la masa de cemento utilizado</p>	
<p style="text-align: center;">Contenido de aire, volumen (%) $= 100 - 826,90 \left(\frac{182,70 + 87,14}{2000,0 + 4 \times 87,14} \right)$</p> <p style="text-align: center;">Contenido de aire , volumen = 4,99 %</p>	

Tabla 16 Resumen de ensayos del cemento							
Cemento:	Armادuro Especial						
Tipo:	Portland Puzolánico Tipo IP						
Marca:	Lafarge						
Tratamiento Preliminar:	Almacenamiento Adecuado						
Descripción	Ensayo N°	U.	1	2	3	Promedio	Requisitos NTE INEN 490*
Densidad Absoluta con Picnómetro		g/cm3	2,94	2,99	2,97	2,97	-
Densidad Absoluta con Frasco Le Chatelier		g/cm3	3,06	3,04	3,03	3,04	-
Finura Vía Húmeda con el tamiz N° 325		%	95,30	95,80	94,60	95,23	-
Finura Por Tamizado Seco		%	95,00	95,10	95,20	95,10	-
Consistencia Normal		%	27,00	26,30	26,90	26,73	-
Resistencia Cúbica de los morteros de cemento							
3 días de edad		MPa	12,72	13,05	-	12,89	Mínimo 13
7 días de edad		MPa	16,92	18,77	-	17,85	Mínimo 20
28 días de edad		MPa	26,88	27,15	-	27,02	Mínimo 25
Tiempo de Fraguado Gillmore							
Inicial		min	140	145	135	140	Mínimo 45
Final		min	310	315	305	310	Máximo 420
Tiempo de Fraguado Vicat							
Inicial		min	138	137	138	138	Mínimo 45
Final		min	302	298	300	300	Máximo 420
Contenido de aire		%	4,38	4,34	4,99	4,57	Máximo 12

* Una referencia del valor de las propiedades del cemento armادuro se presenta en el Anexo 2, para una comparación adicional.

Elaborado por: MOYANO, J., Enero /2014

CAPITULO V: DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA

5.1. Análisis de la resistencia especificada del hormigón ($f'_c = 59$ MPa)

Según la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1855-2: Hormigones, Hormigón preparado en obra, Requisitos, 2002), la Resistencia Especificada (f'_c), es la resistencia de cálculo con la que se diseña la estructura o el proyecto, usualmente medida a los 28 días pero que puede ser especificada para cualquier edad. (pág. 2).

Para los hormigones de alta resistencia por el aumento considerable de resistencia después de los 28 días de edad puede ser conveniente que los proyectistas consideren la resistencia especificada no a los 28 días sino más tarde, pudiendo ser a los 56 días, 90 días, o más, permitiendo utilizar de mejor manera la capacidad potencial del material, generando reducción en las secciones de los elementos, ahorro en encofrados y auxiliares, etc, es decir, conseguir una disminución en el costo de los proyectos.

Establecer la resistencia especificada o de proyecto es el primer paso para dosificar un hormigón. En la presente investigación la resistencia especificada es 59 MPa, medida a los 28 días de edad.

5.2. Análisis de la resistencia requerida según la ACI 318-08

Según la norma INEN (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1855-2: Hormigones, Hormigón preparado en obra, Requisitos, 2002), la Resistencia Promedio Requerida (f'_{cr}), es la resistencia que se utiliza para el diseño de la mezcla en el laboratorio (pág. 2).

El hormigón debe dosificarse de tal manera que la resistencia promedio requerida resultante de los ensayos de campo exceda a la resistencia especificada con un rango suficiente, para que la mezcla empleada en la obra, analizada con ayuda de las leyes de la estadística y probabilidad, satisfaga los requisitos de resistencia impuestos por el calculista del proyecto.

Si se diseña la mezcla con un valor igual a la resistencia especificada, por probabilidad se debe esperar que un 50 % de los resultados sean menores a esta resistencia, lo cual evidentemente resulta inaceptable para la mayoría de las obras, de aquí la necesidad de diseñar la mezcla con valores más altos que f'_c en función de las condiciones de control en obra que se reflejará en la desviación estándar. Pero tampoco es aceptable exigir que ningún resultado sea menor que el especificado.

El valor de la resistencia promedio requerida depende de varios factores entre ellos se encuentran: las condiciones de control en obra, la maquinaria, el personal disponible, la historia de elaboración de mezclas que tenga la planta, etc.

Siguiendo las instrucciones de la norma (ACI 318S-08, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario, 2008):

La resistencia promedio a la compresión requerida (f'_{cr}), usada como base para la dosificar el hormigón debe ser determinada:

1. Empleando la desviación estándar según la Tabla 17.
2. Cuando no existen datos disponibles para determinar una desviación estándar por medio de la Tabla 19.

Tabla 17 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión (MPa)	Resistencia promedio requerida a la compresión (MPa)
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5.1) y (5.2)
	$f'_{cr} = f'_c + 1.34 S_s$ (5.1)
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33 S_s - 3.5$ (5.2)
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5.1) y (5.3)
	$f'_{cr} = f'_c + 1.34 S_s$ (5.1)
	$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33 S_s$ (5.3)

Fuente: ACI 318S-08, capítulo 5, pag.72

El valor S_s es la desviación estándar, determinada conforme a las siguientes condiciones:⁵⁷

Cuando una planta de concreto tiene registros de ensayos de menos de 12 meses de antigüedad y además estos registros representan: materiales, procedimientos de control de calidad, condiciones similares a las esperadas y el hormigón producido tenga resistencias dentro de los 7 MPa de la resistencia a la compresión especificada para la obra. Y además los resultados sean procedentes:

- a. De al menos de 30 ensayos consecutivos, ó
- b. De dos grupos de ensayos consecutivos totalizando al menos 30 ensayos, ninguno de los grupos debe tener menos de 10 ensayos.
- c. De un grupo de menos de 30 ensayos pero como mínimo 15.

a.- Con datos de un solo grupo de al menos 30 ensayos consecutivos:

$$s_s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right]^{1/2}$$

Dónde:

S_s = desviación estándar de la muestra (MPa).

x_i = Ensayo individual de resistencia definido conforme al literal 5.6.2.2 del Reglamento ACI 318R-08.

\bar{x} = Promedio de n resultados de ensayos de resistencia

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia

b.- Con datos de dos registros de ensayos consecutivos para obtener los 30 ensayos mínimos:

⁵⁷ Este procedimiento también se encuentra indicado en : Anexo B de la (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1855-2: Hormigones, Hormigón preparado en obra, Requisitos, 2002, págs. 20-21); así como en (N.E.C-11, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 4: Estructuras de Hormigón Armado, 2011, págs. 25-27)

$$\bar{s}_s = \left[\frac{(n_1 - 1)(s_{s1})^2 + (n_2 - 1)(s_{s2})^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

\bar{s}_s = promedio estadístico desviación estándar para calcular la desviación estándar de la muestra (MPa).

s_{s1} y s_{s2} = desviación estándar para los grupos 1 y 2 calculadas con la ecuación de para s_s .

n_1 y n_2 = Número de ensayos consecutivos de resistencia para los grupos 1 y 2.

c.- De un grupo de menos de 30 ensayos pero como mínimo 15.

Cuando el número de ensayos es menor a 30, hay que tomar un factor de modificación de la

Tabla 18, que deberá multiplicarse con la desviación estándar para obtener la resistencia promedio requerida.

Tabla 18 Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos pero como mínimo 15 ensayos

Número de Ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra (k)
menos de 15	Emplee la Tabla 19
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: ACI 318S-08, capítulo 5, pag.71

Para un número de ensayos intermedio es factible interpolar el factor de modificación.

Tabla 19 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (menos de 15 ensayos)

Resistencia especificada a la compresión (MPa)	Resistencia promedio requerida a la compresión (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$

Fuente: ACI 318S-08, capítulo 5, pag.72

Ahora bien por otro lado analizando la resistencia especificada según las indicaciones establecidas en la norma ACI 211.4R-93, reprobada en 1998:

- a) Cuando el productor del concreto escoge seleccionar proporciones de mezcla de hormigón de alta resistencia basado en la experiencia de campo, se recomienda que la resistencia promedio requerida f'_{cr} usada como la base para la selección de las proporciones de hormigón se tome como el mayor valor calculado de las siguientes ecuaciones:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 S_s \quad (2-1) = (\text{Ec. 5-1 Código ACI 318-08})$$

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33 S_s \quad (2-2) = (\text{Ec. 5-3 Código ACI 318-08})$$

Dónde:

S_s = desviación estándar de la muestra en MPa.

La Ec. (5-3) del Código ACI (ver Tabla 17) que es la es una versión modificada de Ec. (5-2) ($f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 3.5$) del ACI 318 porque, las especificaciones de trabajo para hormigones de alta resistencia normalmente se elaboran para no permitir que más de 1 en 100 pruebas individuales se caigan debajo del 90% de la resistencia especificada. Cuando las especificaciones del trabajo citan la aceptación del criterio ACI 318, la Ec. (5-2) debería ser usada en lugar de la Ec. (2-2) de este reporte.

- b) Cuando el productor de hormigón selecciona proporciones hormigón de alta resistencia sobre la base de ensayos de lotes de prueba de laboratorio, la resistencia promedio requerida f'_{cr} , puede determinarse de la ecuación.

$$f'_{cr} = (f'_c + 1400)/0.90 ; f'_c \text{ en psi (2-3)}$$

$$f'_{cr} = (f'_c + 9.7)/0.90 ; f'_c \text{ en MPa}$$

La experiencia ha demostrado que aquella resistencia probada bajo las condiciones del campo ideales logra únicamente el 90 por ciento de la resistencia medida por prueba realizada bajo las condiciones del laboratorio, por ello dividimos para 0,90.

5.3.Normativas (en concordancia con los Comités ACI 211.4R-93 y ACI 363.2R-98)

Se conoce que en los hormigones alta resistencia el proceso de proporcionamiento, control y ensayo es mucho más rígido y requiere mayor experiencia comparado con los hormigones convencionales. La calidad del hormigón de alta resistencia está controlada por la uniformidad y categoría de sus componentes, por los procesos de mezclado y colocación, así como de las condiciones de curado, por ello es necesario establecer y normar los procedimientos y equipamientos de ensayo que se requieren para fabricarlo y para otorgar la veracidad a los resultados del control de calidad del hormigón.

En el desarrollo de esta investigación para dosificar, fabricar y ensayar hormigones de alta resistencia se han utilizado como guías las normativas que se presentan a continuación:

Normativa: (ACI 211.4R-93, Guide for Selecting Proportions for High-Strength with Portland Cement and Fly Ash, 1998).

Es como lo dice su nombre en inglés, la guía para seleccionar las proporciones del hormigón de alta resistencia, con cemento portland y ceniza volante, reportada en el año 1993, por el Comité ACI 211, reprobada en 1998.

Esta guía establece un método para la dosificación de los hormigones de alta resistencia con la adición de cenizas volantes, diseño que es optimizado mediante mezclas de prueba, y que se limita a hormigones de alta resistencia fabricados con técnicas de producción y materiales convencionales, Todo lo concerniente al proceso de dosificación, selección de materiales para la fabricación, requisitos de asentamiento, trabajabilidad, resistencia requerida, para las mezclas, etc, se encuentran detallados en sus literales.

Esta guía es aplicable a un hormigón de peso normal sin aire incluido que tiene resistencias a la compresión promedio requerida entre 420 y 850 kg/cm².

Tiene una última actualización en el año 2008 (ACI 211.4R-2008), en la cual se considera para dosificar el hormigón de alta resistencia la inclusión de otros materiales cementantes adicionales a la ceniza volante tales como el humo de sílice también conocido como microsílce, y la escoria granulada y molida de altos hornos (GGBFS).

Normativa: (ACI 363.2R-98 Guide to Quality Control and Testing of High-Strength Concrete, 1998),

Es la guía para el control de calidad y ensayos del hormigón de alta resistencia, reportada por el Comité ACI 363 en el año de 1998, que presenta las directrices para facilitar la evaluación adecuada del hormigón de alta resistencia a través de los ensayos de calidad.

En esta guía fundamentalmente se discuten el control de calidad y las pruebas especiales necesarias para medir confiablemente la resistencia de los especímenes de hormigón de alta resistencia. Se cubren los procedimientos de pre-construcción y de construcción, incluyendo la planeación de mezclas de prueba, reuniones previas a la construcción, dosificación, colocación, curado, y ensayos. Además se introduce el

concepto de la precalificación de proveedores y laboratorios que incluye un método para la evaluación de los datos obtenidos.

5.4. Diseño de dosificaciones para mezclas de prueba en función de la resistencia requerida.⁵⁸

A continuación se presenta el método para el proporcionamiento de mezclas de hormigón de alta resistencia, propuesto por el comité ACI 211 4R-93 (Reaprobado en 1998).

Paso 1.- Selección del revenimiento (asentamiento) y de la resistencia requerida para el hormigón.

Los valores recomendados para el revenimiento del concreto se dan en la Tabla 4.3.1. Aunque se han producido exitosamente hormigones de alta resistencia con aditivo superfluidificante, reductor de agua de alto rango (HRWR) sin un revenimiento inicial medible, se recomienda un revenimiento inicial de 2,5 a 5cm (1 a 2 pulgadas), previo a la adición de HRWR. Esto asegurará una cantidad adecuada de agua para el mezclado y permitirá que sea efectivo el aditivo superfluidificante.

Table 4.3.1 — Recommended slump for concretes with and without HRWR

Concrete made using HRWR*	
Slump before adding HRWR	1 to 2 in.
Concrete made without HRWR	
Slump	2 to 4 in.

• Adjust slump to that desired in the field through the addition of HRWR.

⁵⁸ ((ACI) & (IMCYC), Adaptación 2005; Concreto de Alta Resistencia; Proporcionamiento de mezclas ACI 211.4R y Control de Calidad y Ensayes ACI 363.2R, Adaptación 2005)

*Ajuste el revenimiento al deseado en el campo por medio de la adición de HRWR.

Para concretos de alta resistencia hechos sin HRWR, puede elegirse un revenimiento en el rango recomendado de 5 a 10 cm de acuerdo con el tipo de trabajo que tenga que realizarse en la obra. Se recomienda un valor mínimo de 5 cm. para el revenimiento del concreto sin HRWR. Los concretos con menos de 5 cm de revenimiento son difíciles de consolidar debido al alto contenido de agregado grueso y materiales cementantes.

La resistencia requerida del hormigón debe determinarse siguiendo las pautas que se dan en el número 5.2 de la presente investigación investigación (Capítulo 2 de la normativa en cuestión).

Paso 2 - Selección del tamaño máximo del agregado

Con base en los requisitos de resistencia, los tamaños máximos recomendados para los agregados gruesos se dan en la Tabla 4 .3.2. El código ACI 318 establece que el tamaño máximo de un agregado no debe exceder de una quinta parte de la dimensión más corta, entre los lados de los moldes, un tercio del peralte de las losas. ni tres cuartos del claro mínimo entre las varillas de refuerzo individuales, manojos de varillas, tendones de pre-esfuerzo o ductos.

Table 4.3.2— Suggested maximum-size coarse aggregate

Required concrete strength, psi	Suggested maximum-size coarse aggregate, in.
<9000	¾ to 1
>9000	¾ to ½*

* When using HRWR and selected coarse aggregates, concrete compressive strengths in the range of 9000 to 12,000 psi can be attained using larger than recommended nominal maximum-size coarse aggregates of up to 1 in.

*Cuando se usa HRWR, y agregados gruesos seleccionados, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 650 a 850 kg/cm², pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el recomendado, pero no mayor de 25 mm.

Paso 3.- Selección del contenido óptimo de agregado grueso

El contenido óptimo del agregado grueso depende de sus características de resistencia potencial y de su tamaño máximo. Los contenidos óptimos de agregado grueso recomendados, expresados como una fracción de la masa volumétrica compacta en seco (DRUW), se indican en la tabla 4.3.3 como una fracción del tamaño máximo nominal.

Table 4.3.3— Recommended volume of coarse aggregate per unit volume of concrete				
Optimum coarse aggregate contents for nominal maximum sizes of aggregates to be used with sand with fineness modulus of 2.5 to 3.2				
Nominal maximum size, in.	3/4	1 1/2	3/4	1
Fractional volume* of oven-dry rodded coarse aggregate	0.65	0.68	0.72	0.75

*Los volúmenes están basados en agregados secados al horno, tal como se describe en ASTM C 29 para la masa unitaria de los agregados.

Una vez que se ha elegido el contenido óptimo de agregado grueso de la Tabla 4.3.3, el peso del agregado grueso secado al horno (OD) por m³ de concreto puede ser calculado usando la Ec. (4-1)

$$\text{Peso del agregado grueso secado al horno (O.D.)} = (\% \times \text{DRUW}) (*27) \quad (4-1)$$

Al proporcionar mezclas de concreto de resistencia normal, el contenido óptimo de agregado grueso se da como una función del tamaño máximo y el módulo de finura del agregado fino. Sin embargo, las mezclas de concreto de alta resistencia tienen un alto contenido de material cementante, y por eso mismo no dependen tanto del agregado fino para proveer de finos para la lubricación y compactación del concreto fresco. Por lo tanto, los valores que se dan en la Tabla 4.3.3 se recomiendan para usarse con arenas que tienen valores de módulo de finura de 2.5 a 3.2.

Paso 4.- Estimación el agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir: un revenimiento dado, depende del tamaño máximo, la forma de la partícula, y la granulometría del agregado, la cantidad de cemento y el tipo de aditivo reductor de agua usado. Si se usa un HRWR, el contenido de agua de esta mezcla se calcula generalmente como una parte de la $w/(c+p)$. La Tabla 4.3.4 proporciona estimaciones del agua de mezclado requerida para concreto de alta resistencia, elaborado con agregado de tamaño máximo de 9.5 a 25 mm (3/8 a 1 pulg.) previamente a la adición de cualquier aditivo químico. También se dan los valores correspondientes para el contenido de aire atrapado.

Table 4.3.4 — First estimate of mixing water requirement and air content of fresh concrete based on using a sand with 35 percent voids

Slump, in.	Mixing water, lb/yd ³			
	Maximum-size coarse aggregate, in.			
	¾	½	¾	1
1 to 2	310	295	285	280
2 to 3	320	310	295	290
3 to 4	330	320	305	300
Entrapped air content*	3 (2.5) [†]	2.5 (2.0)	2 (1.5)	1.5 (1.0)

* Values given must be adjusted for sands with voids other than 35 percent using Eq. 4-3.

† Mixtures made using HRWR.

*Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec. 4-3.

()^t Mezclas fabricadas usando HRWR.

Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para agregados gruesos angulares limpios, de una forma razonablemente aceptable, bien graduados dentro de los límites de ASTM C 33. Debido a que la forma de las partículas y la textura de la superficie de un agregado no pueden influir significativamente en su contenido de huecos, los requisitos de agua de mezclado pueden ser diferentes de los valores dados.

Los valores para el agua de mezclado requerida que se dan en la Tabla 4.3.4 son aplicables cuando se usa un agregado fino que tiene un contenido de vacíos de 35%.

El contenido de vacíos de un agregado fino puede ser calculado usando la Ec. (4-2)

$$\text{Contenido de vacíos (V \%)} = \left(1 - \frac{\text{masa unitaria varillada secada al horno}}{\text{masa específica del material (seco)} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4-2)$$

Cuando se usa un agregado fino con un contenido de vacíos que no es igual a 35%, debe hacerse un ajuste al contenido recomendado del agua de mezclado. Este ajuste puede ser calculado usando la Ec. (4-3).

$$\text{Ajuste del agua de mezclado (lb / yd}^3\text{)} = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

El uso de la Ec. (4-3) da como resultado un ajuste de agua de 8 lb/yd³ de concreto para cada uno por ciento de la desviación de vacíos respecto al 35%.

Paso 5 - Selección de la relación w/(c + p)

En mezclas de concreto de alta resistencia, pueden usarse otros materiales cementantes tales como ceniza volante. La w/(c+p) se calcula dividiendo la masa del agua de mezclado entre la masa combinada del cemento y la ceniza volante.

En las Tablas 4.3.5 (a) y (b), las relaciones máximas recomendadas w/(c+p) se dan como una función del tamaño máximo agregado para lograr diferentes resistencias a compresión a 28 días o 56 días. El uso de un aditivo superfluidificante HRWR generalmente incrementa la resistencia a compresión del concreto. Los valores

$w/(c+p)$ dados en la Tabla 4.3.5(a) son para concretos elaborados sin HRWR, y los que aparecen en la Tabla 4.3.5 (b) son para concretos hechos usando un HRWR.

Table 4.3.5(a)— Recommended maximum $w/c + p$ for concretes made without HRWR

Field strength f_{cr}^* , psi		$w/c + p$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1
7000	28-day	0.42	0.41	0.40	0.39
	56-day	0.46	0.45	0.44	0.43
8000	28-day	0.35	0.34	0.33	0.33
	56-day	0.38	0.37	0.36	0.35
9000	28-day	0.30	0.29	0.29	0.28
	56-day	0.33	0.32	0.31	0.30
10,000	28-day	0.26	0.26	0.25	0.25
	56-day	0.29	0.28	0.27	0.26

* $f_{cr}^* = f_c' + 1400$.

Table 4.3.5(b)— Recommended maximum $w/c + p$ ratio for concretes made with HRWR

Field strength f_{cr}^* , psi		$w/c + p$			
		Maximum-size coarse aggregate, in.			
		$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1
7000	28-day	0.50	0.48	0.45	0.43
	56-day	0.55	0.52	0.48	0.46
8000	28-day	0.44	0.42	0.40	0.38
	56-day	0.48	0.45	0.42	0.40
9000	28-day	0.38	0.36	0.35	0.34
	56-day	0.42	0.39	0.37	0.36
10,000	28-day	0.33	0.32	0.31	0.30
	56-day	0.37	0.35	0.33	0.32
11,000	28-day	0.30	0.29	0.27	0.27
	56-day	0.33	0.31	0.29	0.29
12,000	28-day	0.27	0.26	0.25	0.25
	56-day	0.30	0.28	0.27	0.26

* $f_{cr}^* = f_c' + 1400$.

Nota: Una comparación de los valores contenidos en las Tablas 4.3 5(a) y 4.3.5 (b) permite en particular, las siguientes conclusiones:

1. Para una relación dada de agua-material cementante, la resistencia de campo del concreto es mayor con el uso de HRWR que sin él, y esta mayor resistencia se alcanza dentro un período de tiempo más corto.
2. Con el uso de HRWR, una resistencia de campo dada del concreto puede lograrse en un periodo de tiempo dado usando menos material cementante que el requerido cuando no se usa HRWR.

Paso 6.- Cálculo el contenido de material cementante

La masa del material cementante requerido por cada yd^3 de concreto puede determinarse dividiendo la cantidad de agua de mezclado por yd^3 de concreto (Paso 4) entre la relación $v/(c+p)$ (Paso 5). Sin embargo si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad del material cementante por cada yd^3 de concreto, esta debe ser satisfecha. Por lo tanto, la mezcla debe ser proporcionada de modo que contenga la cantidad más grande de material cementante requerido. Cuando el contenido de material cementante resultante conforme a las siguientes tablas excede 455 kg (1000lb), puede diseñarse en forma práctica una mezcla usando materiales cementantes con métodos de proporcionamiento alternativos. Este proceso está más allá del alcance de esta guía.

Paso 7.- Proporción de la mezcla básica, sin ningún otro material cementante

Para determinar las proporciones óptimas de la mezcla, el diseñador de mezcla necesita preparar varias mezclas de prueba con varios contenidos diferentes de ceniza volante. Generalmente una mezcla de prueba debe hacerse con cemento Portland como el único material cementante, paso a seguirse para proporcionar la mezcla básica:

1. Contenido de cemento

Para esta mezcla, no ha de usarse ningún otro material cementante, la masa de cemento es igual a la masa del material cementante calculada en el Paso 6.

2. Contenido de arena

Después de determinar las masas por cada yd^3 de agregado grueso, de cemento y agua, y el porcentaje de contenido de aire, el contenido de arena puede calcularse para producir $1\text{yd}^3=27\text{ft}^3$ usando el método del volumen absoluto.

Paso 8.- Proporcionamiento de mezclas compañeras usando ceniza volante

El uso de ceniza volante en la producción de concreto de alta resistencia puede dar como resultado una menor demanda de agua, menor temperatura del concreto, y reducción del costo. Sin embargo, debido a las variaciones en las propiedades químicas de la ceniza volante, pueden ser afectadas las características de ganancia de resistencia del concreto. Por lo tanto, se recomienda que al menos se use dos contenidos diferentes de ceniza volante para las mezclas de prueba compañeras. Los siguientes pasos deben ser completados para cada mezcla de prueba compañera que ha de ser proporcionada:

1. Tipo de ceniza volante

Debido a las diferentes composiciones químicas las características de reducción de agua y ganancia de resistencia por la ceniza volante variarán con el tipo usado y su fuente. Por lo tanto" esta: características, así como su disponibilidad, deben ser consideradas al escoger la ceniza volante que ha de usarse

2. Contenido de ceniza volante

La cantidad de cemento que ha de reemplazarse por ceniza volante depende del tipo de material que ha de usarse. Los límites recomendados para el reemplazo se dan en la Tabla 4.3.6, para las dos clases de ceniza volante. Para cada mezcla de prueba compañera que ha de ser diseñada, debe escogerse de esta tabla un porcentaje de reemplazo.

Table 4.3.6— Recommended values for fly ash replacement of portland cement	
Fly ash	Recommended replacement (percent by weight)
Class F	15 to 25
Class C	20 to 35

3. Masa de la ceniza volante

Una vez que se han elegido los porcentajes para el reemplazo, el peso de la ceniza volante que ha de usarse para cada mezcla de prueba compañera puede ser calculado multiplicando la masa total de los materiales cementantes (Paso 6) por los porcentajes de reemplazo previamente escogidos. La masa restante de los materiales cementantes corresponde a la masa del cemento. Por lo tanto, para cada mezcla, la masa de la ceniza volante más la masa de cemento debe ser igual a la masa de los materiales cementantes calculados en el Paso 6.

4. Volumen de la ceniza volante

Debido a las diferencias en las masas específicas del material seco del cemento Portland sin la ceniza volante, el volumen de los materiales cementantes por yd^3 variará con el contenido de ceniza volante, aún cuando la masa de los materiales cementantes permanezca constante. Por lo tanto, para cada mezcla, el volumen de los materiales cementantes debe ser calculado sumando el volumen de cemento y el volumen de la ceniza volante.

5. Contenido de arena

Habiendo encontrado el volumen de los materiales cementantes por yd^3 de concreto, los volúmenes por yd^3 del agregado grueso, agua, y de aire atrapado (Paso 7), el contenido de arena de cada mezcla puede ser calculado usando el método del volumen absoluto.

Usando el procedimiento precedente, el volumen total del cemento y la ceniza volante más la arena por yd^3 de concreto se mantiene constante. En las proporciones de la

mezcla pueden ser necesarios otros ajustes, debido a los cambios en la demanda de agua y otros efectos de la ceniza volante en las propiedades del concreto" Estos ajustes son determinados durante el mezclado de las pruebas, como se discute en el paso 10.

Paso 9 - Mezclas de prueba

Para cada una de las mezclas de prueba proporcionadas en los pasos del 1 a 8, debe elaborarse una mezcla de prueba para determinar las características de trabajabilidad y resistencia de las mezclas. Las masas de la arena, agregado grueso y del agua, deben ser ajustadas para corregir la condición de humedad de los agregados usados. Cada revoltura debe ser tal que, después de un mezclado completo, se logre una mezcla uniforme de tamaño suficiente para fabricar el número requerido de especímenes para la prueba de resistencia.

Paso 10 - Ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba

Si no se obtienen las propiedades deseadas del concreto, las proporciones de la mezcla de prueba original deben ajustarse de acuerdo a las siguientes pautas para conseguir la trabajabilidad deseada.

1. Revenimiento inicial- Si el revenimiento inicial de la mezcla de prueba no está dentro del rango deseado, el agua de mezclado debe ser ajustada. La masa del material cementante en la mezcla debe ser ajustada para mantener la $w/(c+p)$ deseada. Luego debe ajustarse el contenido de arena para asegurar el rendimiento apropiado del concreto.

2. Volumen de HRWR para dosificación - Si se usa HRWR, deben ensayarse diferentes cantidades de dosificación para determinar el efecto en la resistencia y trabajabilidad de la mezcla de concreto. Debido a la naturaleza de las mezclas de concreto de alta resistencia, pueden tolerarse tasas de dosificación más altas que las

recomendadas por el fabricante del aditivo, sin tener segregación. Además, puesto que se ha encontrado que el momento de la adición del HRWR y la temperatura del concreto afectan la efectividad del aditivo, su uso en las mezclas de prueba en el laboratorio tal vez tengan que ajustarse para las condiciones de campo. En general, se ha encontrado que la redosificación con HRWR para restaurar la trabajabilidad da como resultado un incremento en las resistencias a casi todas las edades de prueba.

3. Contenido de agregado grueso - Una vez que se ha ajustado el revenimiento deseado de la mezcla de prueba del concreto, debe determinarse si la mezcla es demasiado áspera para la colocación en la obra o para los requisitos de acabado. De ser necesario, puede reducirse el contenido de agregado grueso y consecuentemente el contenido de arena debe ser ajustado para conservar el rendimiento apropiado. Sin embargo, esto puede incrementar la demanda de agua de la mezcla, incrementando así el contenido requerido de materiales cementantes para mantener una relación $w/(c+p)$ dada. Además, una reducción en el contenido de agregado grueso puede dar como resultado en el concreto endurecido un módulo de elasticidad más bajo.

4. Contenido de aire - Si el contenido de aire medido difiere significativamente de la proporción de diseño calculada debe reducirse la dosificación o el contenido de arena debe ser ajustado para mantener el rendimiento apropiado.

5. Relación agua-material cementante $w/(c+p)$ - Si no se logra la resistencia requerida a compresión del concreto usando la $w/(c+p)$ recomendada en la Tabla 4.3.5(a) o (b), deben ensayarse mezclas de prueba adicionales con una $w/(c+p)$ más baja. Si esto no da como resultado resistencias a compresión más altas, debe revisarse la conveniencia de los materiales usados.

Paso 11 - Seleccione las proporciones óptimas de la mezcla

Una vez que se han ajustado las proporciones de la mezcla de prueba para producir las propiedades de trabajabilidad y resistencia deseadas, deben elaborarse especímenes de resistencia de las mezclas de prueba hechas bajo las condiciones de

esperadas en la obra de acuerdo al procedimiento recomendado por el ACI211.1 para elaborar y ajustar revolturas de prueba. En forma práctica se han evaluado mejor los procedimientos de producción y control de calidad cuando las mezclas de prueba de tamaño real de producción fueron preparadas con el equipo y el personal que va a emplearse en el trabajo real. Los resultados de las pruebas de resistencia deben ser presentados de tal manera que permitan la selección de proporciones aceptables para el trabajo, basado en los requisitos de resistencia y costo.

Tabla 20: Método Para Proporcionar Mezclas De Hormigón De Alta Resistencia ACI 211.4R-93 (Reaprobado 1998)

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Selección del asentamiento según se utilice o no, aditivo superfluidificante reductor de agua de alto rango(HRWR) de Tabla 4.3.1 y resistencia promedio requerida (de ACI 211.4R-98 cap. 2, ACI 318S-08 Cap. 5,u otras, según las especificaciones de la obra)
2	Selección del tamaño máximo del agregado para obtener la resistencia requerida (Tabla 4.3.2)
3	Selección del contenido óptimo del agregado grueso en función de su tamaño máximo nominal y del módulo de finura de la arena que estará entre 2.5 y 3.2 (Tabla 4.3.3), cálculo del peso del agregado grueso secado al horno (OD)= (% * DRUW)* 27 (Ec 4.1)
4	Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire del hormigón fresco (Tabla 4.3.4), en función del asentamiento y tamaño máximo del agregado grueso y además de la utilización o no de aditivo HRWR, tabla estimada con un contenido de vacíos en la arena del 35%, de no ser el porcentaje de vacíos igual al 35% calculada con: $(V \%) = (1 - \frac{\text{masa unitaria varillada secada al horno}}{\text{masa especifica del material (seco)}}) * 100$ Ec.(4.2); se realiza un ajuste al agua de mezclado (lb/yd3) = (V-35)*8 Ec. (4.3)
5	Selección de la relación w/(c+p), en función del tamaño máximo del agregado grueso y la resistencia promedio requerida a los 28 ó 56 días. Se utilizará la Tabla 4.3.5.a) para hormigones sin HRWR, y la Tabla 4.3.5.b) para hormigones con HRWR
6	Cálculo del contenido del material cementante, se determina dividiendo la cantidad de agua de mezclado corregida obtenida en el paso 4 para la relación w/(c+p) del paso 5.
7	Proporcionamiento de la mezcla básica sin ningún otro material cementante. Cantidades: Agua= paso 4; Cemento: paso 6; Agregado grueso: paso 3; Agregado fino: método del volumen absoluto.
8	Proporcionamiento de las mezclas compañeras, usando ceniza volante. Considerar tipo, contenido, masa y volumen de la ceniza volante.
9	Fabricación de la mezclas de prueba.
10	Ajuste de las proporciones de la mezcla de prueba, asentamiento inicial, dosificación del HRWR, contenido de agregado grueso, contenido de aire; relación w/(c+p).
11	Selección de las proporciones óptimas de la mezcla y elaboración de especímenes conforme al procedimiento ACI 211.1.

Elaborado por: MOYANO, J. Enero /2014; en base a normativa ACI 211.4R-93 (Reaprobada 1998)

5.5. Método del volumen absoluto

El método de volumen absoluto es el procedimiento que permite determinar de forma más precisa las proporciones de árido fino para el hormigón, se fundamenta en el uso de los volúmenes de los ingredientes. En este caso, la sumatoria del volumen total de los ingredientes conocidos: agua, aire, cemento y agregado grueso, se resta del volumen unitario de hormigón (1m^3 o 1yd^3 , etc) y se obtiene el volumen requerido de agregado fino.

El volumen que cualquier ingrediente ocupa en el concreto es igual a su peso dividido entre el peso específico de ese material.⁵⁹

5.6. Cálculo de la resistencia requerida

En base a lo descrito en el numeral 5.2:

a) Según la norma ACI 318S-08:

Debido al hecho de que en los laboratorios de la Facultad de ingeniería Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central de Ecuador, no se tiene registros de hormigones de alta resistencia, de menos de 12 meses o al menos no existen registros de ensayos consecutivos de por lo menos 15 ensayos que representen dentro de un margen de 7MPa la resistencia especificada (59MPa) del hormigón, no podemos determinar la desviación estándar (S_s), por ello se utilizará la Tabla 19 para el cálculo de la resistencia a la compresión promedio requerida, como generalmente sucede en obras nuevas.

Resistencia especificada $f'_c = 59 \text{ MPa}$

Como $f'_c > 35 \text{ MPa}$

La resistencia a la compresión promedio requerida:

$$f'_{cr} = 1,10f'_c + 5.0 \text{ (MPa)}$$

$$f'_{cr} = 1,10(59) + 5.0 \text{ (MPa)}$$

$$f'_{cr} = 69.9 \text{ MPa}$$

b) Según la norma ACI 211-4R, 93, reprobada en 1998, capítulo 2:

⁵⁹ <http://www.arqhys.com/contenidos/gruesos-agregados.html>

$$f'_{cr} = f'_c + 1400/0.90 \text{ (psi)}$$

$$f'_{cr} = (f'_c + 9,7)/0.90 \text{ (MPa)}$$

$$f'_{cr} = (59 + 9,7)/0.90$$

$$f'_{cr} = 76,3 \text{ MPa}$$

c) Norma ACI 211 4R-93 tablas 4.3.5.a) y 4.3.5.b):

Para determinar la relación agua- material cementante que permita alcanzar la resistencia promedio requerida se utiliza las tablas 4.3.5.a) y 4.3.5.b) de esta norma; para mezclas diseñadas sin aditivo HRWR y con aditivo HRWR respectivamente, la ecuación que se utiliza en dichas tablas para calcular la resistencia requerida es la siguiente:

$$f'_{cr} = f'_c + 1400 ; \text{ (psi)}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 9,7; \text{ (MPa)}$$

$$f'_{cr} = 59 + 9,7$$

$$f'_{cr} = 68,7 \text{ MPa}$$

Este último valor obtenido, difiere mínimamente del valor resultante de aplicar el procedimiento de ACI318S-08, por lo cuanto será considerado en los diseños.

Utilizaremos la resistencia que una vez iniciado el proyecto, se pueden ir recopilando los datos de los ensayos de resistencia hasta tener un número suficiente que permita el estudio estadístico y con él calcular la desviación estándar, requisito para determinar una nueva resistencia f'_{cr} menos conservadora y por tanto más económica.

5.7. Mezclas de prueba

Para dosificar las mezclas de prueba, se ha considerado mantener constantes casi todos los parámetros, variando uno solo a la vez, para determinar directamente su desempeño e influencia en la mezcla, con esto se busca definir los componentes adecuados y sus proporciones ideales, que nos permitan llegar a definir una mezcla patrón. Luego basándonos en esta mezcla patrón, construiremos 3 dosificaciones adicionales realizando los correctivos necesarios de sus propiedades para obtener la dosificación definitiva que nos brinde los mejores resultados de trabajabilidad y resistencia.

Explicación del proceso manejado en laboratorio:

Obtención de la mezcla patrón: MP-1HAR hasta MP11-HAR

- Identificación de las constantes en las mezclas: origen del material; para áridos (mina cantera Río Guayllabamba”), para el cemento (Armaduro de la línea Lafarge), así como el proceso previo de lavado y selección del material pétreo, indispensable para permitir la ganancia de resistencia.
- Identificación de las variables para cada mezcla: el tamaño nominal máximo del agregado grueso, aditivos superfluidificantes, microsílce y su porcentaje de adición en la mezcla.
- Calificar o descartar: a los componentes así como a las proporciones utilizadas en las mezclas, después de los respectivos ensayos (una sola variable a la vez).

Obtención de la mezcla definitiva: MP10-A1-HAR hasta MP10-A3-HAR

- Ajuste de las propiedades de la mezcla patrón seleccionada: relación agua-material cementante, (factor cementante), para obtener nuestra resistencia promedio requerida, con adecuada trabajabilidad sin presencia de segregación.

5.7.1 Alternativas de Mezclas

A continuación presentamos la descripción de cada una de las mezclas que se fabricaron:

Variando el Tamaño Nominal Máximo del agregado grueso y las tablas de dosificación 4.3.5.(a) y (b.)

- **MP1-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/4 pulg (19,0mm).
- **MP2-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 1/2 pulg (12,7mm).
- **MP3-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 1/2 pulg (12,7mm), dosificado utilizando la tabla 4.3.5. (b) de la norma ACI 211.4R-93 para hormigones con aditivo reductor de agua de alto rango HRWR.
- **MP4-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8 pulg (9,5mm), dosificado utilizando la tabla 4.3.5. (b) de la norma ACI 211.4R-93 para hormigones con aditivo reductor de agua de alto rango HRWR.
- **MP5-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8 pulg (9,5mm).

Variando el Aditivo:

- **MP6-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), 1,5% de aditivo Sikament N 100 (SIKA) y microsílice Sikafume (SIKA) al 15%.

- **MP7-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm) y 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF).
- **MP8-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm) y 3,0% de aditivo Sikament N100 (SIKA).

Variando el Porcentaje de Microsílice:

- **MP9-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 5 % de microsílice Rheomac SF 100 (BASF).
- **MP10-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 8 % de microsílice Rheomac SF 100 (BASF). La definiremos como nuestra mezcla patrón.
- **MP11-HAR:** Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 10 % de microsílice Rheomac SF 100 (BASF).

Variando la relación agua/material cementante mínimamente para obtener la resistencia promedio requerida. Para determinar la mezcla definitiva.

- **MP10-A1-HAR:** MP10-HAR
- **MP10-A2-HAR:** MP10-HAR, variando la relación $w/(c+p)$ a 0,27, y redosificando los demás componentes.
- **MP10-A3-HAR:** MP10-HAR, variando la relación $w/(c+p)$ a 0,28 y redosificando los demás componentes.

DISEÑO DE LAS MEZCLAS POR EL METODO ACI 211.4R - 93

5.7.1.1 DATOS DE DISEÑO PARA LAS MEZCLAS:

Resistencia especificada : $f'_c =$
Medida a los 28 días

8557 Psi	59 MPa
----------	--------

DESCRIPCION	AGREGADOS CANTERA "RIO GUAYLLABAMBA"		UNIDAD
	FINO	GRUESO	
Peso Específico (Dss)	2,55	2,59	g /cm ³
Peso Específico (Dss)	159,12	161,62	lb /ft ³
% de absorción	1,36	2,24	%
δ ap. Compactada	1,64	1,46	g /cm ³
δ ap. Compactada	102,34	91,10	lb /ft ³
δ ap. Suelta	1,57	1,32	g /cm ³
% de humedad	0,31	0,49	%
M.F.	3,01	6,98	-

DENSIDAD DEL CEMENTO :

3,04 g/cm ³	189,70 lb/ ft ³
------------------------	-------------------------------

ARMADURO

5.7.1.2 MP1-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/4pulg (19,0mm).

PASO 1 : *Selección del asentamiento y la resistencia requerida*

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR , según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

2 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$
$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$

PASO 2: *Selección del tamaño máximo del agregado*

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

3/4 plg

19 mm

PASO 3: *Seleccionar el contenido óptimo de agregado*

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodded) (DRUW), están dados en la tabla 4.3.3

		De tablas:	
M. F. arena =	3,01	<table border="1"><tr><td>0,72</td></tr></table>	0,72
0,72			
TNM ripio =	3/4 plg		

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd³ de hormigón usando EQ (4 - 1)

$$\text{Peso del árido grueso (O.D.)} = (\text{Factor del árido grueso} \times \text{DRUW}) \times 27 \quad (4 - 1)$$

$$\text{O.D} = (0,72 \times 91,10 \times 27)$$

$$\text{O.D} = \boxed{1771,06 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 2 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 3/4 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TNM : 3/4 plg

Asentamiento : 2 plg

Agua de Mezclado: 295,00

Contenido de aire atrapado : 2,0%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón:

$$295,0 \text{ lb/yd}^3 + 5,49 \text{ lb/yd}^3$$

$$300,49 \text{ lb/yd}^3$$

PASO 5: *Selección $w/(c + p)$*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 3/4 plg utilizamos la Tabla 4.3.5 (a)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400$$

$$= 9990 \text{ Psi}$$

$$\mathbf{TM} = 3/4 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (a) :

LIMITES	9000	0,29
	10000	0,25

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,2504}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{300,49 \text{ lb}}{0,2504} = 1200,0 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd^3 = 1200,0 lb

2. Los volúmenes por yd^3 de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	6,33 ft ³
El agregado grueso =	10,96 ft ³
Agua =	4,82 ft ³
Aire =	0,54 ft ³
Volumen total =	22,64 ft ³

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd^3 de hormigón es:

$$27 - 22,64 \text{ ft}^3 = \boxed{4,36 \text{ ft}^3}$$

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd^3 de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$\boxed{4,36 \text{ ft}^3 \times 159,1 \text{ lb/ft}^3 = 693,7 \text{ lb}}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd^3 de hormigón :

Cemento	1200,0 lb
Arena, seca	693,7 lb
El agregado grueso, seco	1771,1 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	300,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m^3 de hormigón

CEMENTO =	712,16 Kg
AGUA =	178,32 Kg
ARENA =	411,70 Kg
RIPIO =	1051,03 Kg

Dosificación

0,25 ;	1,00 ;	0,58 ;	1,48
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 9 cilindros de hormigón

Volumen del Cilindro

DATOS :

$$\begin{array}{ll} \text{ALTURA :} & 20 \text{ cm} \\ \text{DIAMETRO:} & 10 \text{ cm} \end{array} \quad V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del hormigón} = 2.40 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cilindros: 9

Cantidad: 36,00 kg de hormigón

$$0,25 \times \quad + 1,00 \times \quad + 0,58 \times \quad + 1,48 \times \quad = 36,00$$

$$x = 10,89 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 36,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	2,73 lt	0,25
CEMENTO	10,89 kg	1,00
ARENA	6,30 kg	0,58
RIPIO	16,08 kg	1,48

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA	1,36	0,31

$$\text{ARENA :} \quad 6,30 \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 6,23 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 6,30 \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,07 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 16,08 \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 15,80 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 16,08 \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,28 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$2,73 \text{ lt} + 0,07 \text{ lt} + 0,28 \text{ lt} = 3,07 \text{ lt}$$

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,07 lt	0,28
CEMENTO	10,89 kg	1,00
ARENA	6,23 kg	0,57
RIPIO	15,80 kg	1,45

Cantidades adicionales que se pusieron en la mezcla por cuestiones de trabajabilidad, ya que no se colocó aditivo superfluidificante como primer tanteo

CEMENTO: 2,00 kg

AGUA: 1,57 lt

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	4,64 lt	0,36
CEMENTO	12,89 kg	1,00
ARENA	6,23 kg	0,48
RIPIO	15,80 kg	1,23

DOSIFICACION CORREGIDA:	0,36 ;	1,00 ;	0,48 ;	1,23
-------------------------	---------------	---------------	---------------	-------------

5.7.1.3 MP2-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 1/2pulg (12,7mm).

PASO 1 : Selección del asentamiento y la resistencia requerida

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR , según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

2 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$$

$$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$$

PASO 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

1/2 plg

13 mm

PASO 3: Seleccionar el contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodded) (DRUW), están dados en la tabla 4.3.3

M. F. arena =

3,01

TN ripio =

1/2 plg

De
tablas:

0,68

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd^3 de hormigón usando EQ (4 - 1)

Peso del árido grueso (O.D.) = (Factor del árido grueso x DRUW) x 27 (4 - 1)

$$O.D = (0,68 \times 91,10 \times 27)$$

$$O.D = \boxed{1672,67 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 2 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 1/2 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TM : 1/2 plg

Asentamiento : 2 plg

Agua de Mezclado:

310,00

Contenido de aire atrapado :

2,5%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón es :

$$310,0 \text{ lb/ yd}^3 + 5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

$$315,49 \text{ lb/ yd}^3$$

PASO 5: *Selección $w/(c + p)$*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 1/2 pulg utilizamos la Tabla 4.3.5 (a)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400 = 9990 \text{ Psi}$$

$$\text{TNM} = 1/2 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (a) :

LIMITES	9000	0,29
	10000	0,26

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,2603}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{315,49 \text{ lb}}{0,2603} = 1212,0 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd^3 = 1212,0 lb

2. Los volúmenes por yd^3 de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	6,39 ft^3
El agregado grueso =	10,35 ft^3
Agua =	5,06 ft^3
Aire =	0,68 ft^3
Volumen total =	22,47 ft^3

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd^3 de hormigón es:

$$27 - 22,47 \text{ ft}^3 = \boxed{4,53 \text{ ft}^3}$$

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd^3 de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$\boxed{\frac{4,53 \text{ ft}^3 \times 159,1 \text{ lb/ft}^3}{720,8 \text{ lb}}}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd^3 de hormigón

Cemento	1212,0 lb
Arena, seca	720,8 lb
El agregado grueso, seco	1672,7 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	315,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m^3 de hormigón

CEMENTO =	719,27 Kg
AGUA =	187,23 Kg
ARENA =	427,77 Kg
RIPIO =	992,64 Kg

Dosificación

0,26 ;	1,00 ;	0,59 ;	1,38
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 9 cilindros de hormigón
Volumen del Cilindro

DATOS :

$$\begin{array}{ll} \text{ALTURA :} & 20 \text{ cm} \\ \text{DIAMETRO:} & 10 \text{ cm} \end{array} \quad V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del hormigón} = 2.40 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cilindros: 9
 Cantidad: 36,00 kg de hormigón

$$0,26 \times \quad + 1,00 \times \quad + 0,59 \times \quad + 1,38 \times \quad = 36,00$$

$$x = 11,13 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 36,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	2,90 lt	0,26
CEMENTO	11,13 kg	1,00
ARENA	6,62 kg	0,59
RIPIO	15,36 kg	1,38

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA	1,36	0,31

$$\text{ARENA : } 6,62 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 6,55 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 6,62 \text{ kg} \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,07 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 15,36 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 15,09 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 15,36 \text{ kg} \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,26 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$2,90 \text{ lt} + 0,07 \text{ lt} + 0,26 \text{ lt} = 3,23 \text{ lt}$$

LA MEZCLA DE PRUEBA SE FABRICA CON LAS SIGUIENTES CANTIDADES :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,23 lt	0,29
CEMENTO	11,13 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,59
RIPIO	15,09 kg	1,36

Cantidades adicionales que se pusieron en la mezcla por cuestiones de trabajabilidad, ya que no se colocó aditivo superfluidificante :

CEMENTO: 1,00 kg

AGUA: 1,27 lt

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	4,50 lt	0,37
CEMENTO	12,13 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,54
RIPIO	15,09 kg	1,24

**DOSIFICACION
CORREGIDA:**

0,37 ;	1,00 ;	0,54 ;	1,24
---------------	---------------	---------------	-------------

5.7.1.4 MP3-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 1/2pulg (12,7mm), dosificado utilizando la tabla 4.3.5. (b) de la norma ACI 211.4R-93 para hormigones con aditivo reductor de agua de alto rango HRWR.

PASO 1 : Selección del asentamiento y la resistencia requerida

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR , según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

1 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$$

$$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$$

PASO 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

1/2 plg

13 mm

PASO 3: Seleccionar el contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodded) (DRUW)[1], están dados en la tabla 4.3.3

M. F. arena =

3,01

TN ripio =

1/2 plg

De
tablas:

0,68

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede

calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd³ de hormigón usando EQ (4 - 1)

$$\text{Peso del árido grueso (O.D.)} = (\text{Factor del árido grueso} \times \text{DRUW}) \times 27 \quad (4 - 1)$$

$$\text{O.D} = (0,68 \times 91,10 \times 27)$$

$$\text{O.D} = \boxed{1672,67 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 1 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 1/2 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TM : 1/2 plg

Asentamiento : 1 plg

Agua de Mezclado:

295

Contenido de aire atrapado :

2,0%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón es :

$$295,0 \text{ lb/ yd}^3 + 5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

$$300,49 \text{ lb/ yd}^3$$

PASO 5: *Selección $w/(c + p)$*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 1/2 plg utilizamos la Tabla 4.3.5 (b)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$= 9990 \text{ Psi}$$

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400 \text{ TNM} = 1/2 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (b) :

LIMITES	9000	0,36
	10000	0,32

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,3204}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{315,49 \text{ lb}}{0,3204} = 937,9 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd^3 = 937,9 lb

2. Los volúmenes por yd^3 de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	4,94 ft ³
El agregado grueso =	10,35 ft ³
Agua =	4,82 ft ³
Aire =	0,54 ft ³
Volumen total =	20,65 ft ³

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd^3 de hormigón es:

$$27 - 20,65 \text{ ft}^3 = \boxed{6,35 \text{ ft}^3}$$

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd^3 de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$\boxed{6,35 \text{ ft}^3 \times 159,1 \text{ lb/ft}^3 = 1010,5 \text{ lb}}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd^3 de hormigón

Cemento	937,9 lb
Arena, seca	1010,5 lb
El agregado grueso, seco	1672,7 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	300,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m^3 de hormigón

CEMENTO =	556,57 Kg
AGUA =	178,32 Kg
ARENA =	599,70 Kg
RIPIO =	992,64 Kg

Dosificación

0,32 ;	1,00 ;	1,08 ;	1,78
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 9 cilindros de hormigón

Volumen del Cilindro

DATOS :

$$\begin{array}{ll} \text{ALTURA :} & 20 \text{ cm} \\ \text{DIAMETRO:} & 10 \text{ cm} \end{array} \quad V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del hormigón} = 2.40 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cilindros: 9
Cantidad: 36,00 kg de hormigón

$$0,32 \times \quad + 1,00 \times \quad + 1,08 \times \quad + 1,78 \times \quad = 36,00 \text{ kg}$$

$$x = 8,61 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 36,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	2,76 lt	0,32
CEMENTO	8,61 kg	1,00
ARENA	9,28 kg	1,08
RIPIO	15,36 kg	1,78

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA	1,36	0,31

$$\text{ARENA : } 9,28 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 9,18 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 9,28 \text{ kg} \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,10 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 15,36 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 15,09 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 15,36 \text{ kg} \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,26 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$2,76 \text{ lt} + 0,10 \text{ lt} + 0,26 \text{ lt} = 3,12 \text{ lt}$$

LA MEZCLA DE PRUEBA SE FABRICA CON LAS SIGUIENTES CANTIDADES :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,12 lt	0,36
CEMENTO	8,61 kg	1,00
ARENA	9,18 kg	1,07
RIPIO	15,09 kg	1,75

ADITIVO: SIKAMENT N-100

DENSIDAD: 1,22 kg / lt

DOSIFICACION: % Con respecto al peso del cemento

MATERIAL	% peso cem.	PESO (kg)	VOLUMEN (Lt)
ADITIVO	1%	0,086	0,071

Finalmente restamos este valor del agua de mezcla, para evitar que se altere la relación w/(c+p):

AGUA:	3,12 - 0,071	3,05 lt
-------	--------------	---------

5.7.1.5 MP4-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8 pulg (9,5mm), dosificado utilizando la tabla 4.3.5. (b) de la norma ACI 211.4R-93 para hormigones con aditivo reductor de agua de alto rango HRWR.

PASO 1 : Selección del asentamiento y la resistencia requerida

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR , según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

1 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$
$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$

PASO 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

3/8 plg

10 mm

PASO 3: Seleccionar el contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodded) (DRUW)[1], están dados en la tabla 4.3.3

M. F. arena =	3,01	<div>De tablas: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>0,65</td></tr></table></div>	0,65
0,65			
TN ripio =	3/8 plg		

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd^3 de hormigón usando EQ (4 - 1)

Peso del árido grueso (O.D.) = (Factor del árido grueso x DRUW) x 27 (4 - 1)

$$\text{O.D} = (0,65 \times 91,10 \times 27)$$

$$\text{O.D} = \boxed{1598,88 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 1 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 3/8 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TM : 3/8 plg

Asentamiento : 1 plg

Agua de Mezclado:

310

Contenido de aire atrapado :

2,5%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón es :

$$310,0 \text{ lb/ yd}^3 + 5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

$$315,49 \text{ lb/ yd}^3$$

PASO 5: *Selección $w/(c + p)$*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 3/8 plg utilizamos la Tabla 4.3.5 (b)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400 = 9990 \text{ Psi}$$

$$\text{TNM} = 3/8 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (b) :

LIMITES	9000	0,38
	10000	0,33

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,3305}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{315,49 \text{ lb}}{0,3305} = 954,6 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd³ = 954.6lb

2. Los volúmenes por yd³ de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	5,03 ft3
El agregado grueso =	9,89 ft3
Agua =	5,06 ft3
Aire =	0,68 ft3
Volumen total =	20,66 ft3

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd³ de hormigón es:

27 - 20,66 ft3 = 6,34 ft3

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd³ de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$6,34 \text{ ft3} \times 159,1 \text{ lb/ft3} = \span style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">1009,4 \text{ lb}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd3 de hormigón

Cemento	954,6 lb
Arena, seca	1009,4 lb
El agregado grueso, seco	1598,9 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	315,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m3 de hormigón

CEMENTO =	566,49 Kg
AGUA =	187,23 Kg
ARENA =	599,04 Kg
RIPIO =	948,84 Kg

Dosificación

0,33 ;	1,00 ;	1,06 ;	1,67
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 9 cilindros de hormigón

Volumen del Cilindro

DATOS :

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

ALTURA : 20 cm
DIAMETRO: 10 cm

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del hormigón} = 2.40 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cilindros: 9
Cantidad: 36,00 kg de hormigón

$$0,33 \times x + 1,00 \times x + 1,06 \times x + 1,67 \times x = 36,00 \text{ kg}$$

$$x = 8,86 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 36,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	2,93 lt	0,33
CEMENTO	8,86 kg	1,00
ARENA	9,37 kg	1,06
RIPIO	14,84 kg	1,67

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA	1,36	0,31

$$\text{ARENA : } 9,37 \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 9,27 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 9,37 \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,10 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 14,84 \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 14,59 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 14,84 \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,25 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$2,93 \text{ lt} + 0,10 \text{ lt} + 0,25 \text{ lt} = 3,28 \text{ lt}$$

LA MEZCLA DE PRUEBA SE FABRICA CON LAS SIGUIENTES CANTIDADES :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,28 lt	0,37
CEMENTO	8,86 kg	1,00
ARENA	9,27 kg	1,05
RIPIO	14,59 kg	1,65

ADITIVO: SIKAMENT N-100

DENSIDAD: 1,22 kg / lt

DOSIFICACION: % Con respecto al peso del cemento

MATERIAL	% peso cem.	PESO (kg)	VOLUMEN (Lt)
ADITIVO	1,5%	0,133	0,109

Finalmente restamos este valor del agua de mezcla, para evitar que se altere la relación w/(c+p):

AGUA	3,28 - 0,109=	3,17 lt
------	---------------	---------

5.7.1.6 MP5-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8 pulg (9,5mm).

Mezcla sin aditivo, ni microsílíce

PASO 1: Selección del asentamiento y la resistencia requerida

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR, según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

2 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$$

$$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$$

PASO 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

3/8 plg

10 mm

PASO 3: Seleccionar el contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodded) (DRUW)[1], están dados en la tabla 4.3.3

M. F. arena =

3,01

TN ripio =

3/8 plg

De
tablas:

0,65

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd^3 de hormigón usando EQ (4 - 1)

Peso del árido grueso (O.D.) = (Factor del árido grueso x DRUW) x 27 (4 - 1)

$$O.D = (0,65 \times 91,10 \times 27)$$

$$O.D = \boxed{1598,88 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 2 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 3/8 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TM : 3/8 plg

Asentamiento : 2 plg

Agua de Mezclado: 320,00 lb/yd³

Contenido de aire atrapado : 3,0%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón es :

$$320,0 \text{ lb/ yd}^3 + 5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

$$325,49 \text{ lb/ yd}^3$$

PASO 5: *Selección $w/(c + p)$*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 3/8 plg utilizamos la Tabla 4.3.5 (a)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400 = 9990 \text{ Psi}$$

$$\text{TNM} = 3/8 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (a) :

LIMITES	9000	0,30
	10000	0,26

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,2604}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{325,49 \text{ lb}}{0,2604} = 1250,0 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd³ = 1250,0 lb

2. Los volúmenes por yd³ de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	6,59 ft ³
El agregado grueso =	9,89 ft ³
Agua =	5,22 ft ³
Aire =	0,81 ft ³
Volumen total =	22,51 ft ³

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd³ de hormigón es:

$$27 - 22,51 \text{ ft}^3 = \boxed{4,49 \text{ ft}^3}$$

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd³ de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$4,49 \text{ ft}^3 \times 159,1 \text{ lb/ft}^3$$

$$\boxed{714,7 \text{ lb}}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd³ de hormigón :

Cemento	1250,0 lb
Arena, seca	714,7 lb
El agregado grueso, seco	1598,9 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	325,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m³ de hormigón :

CEMENTO =	741,78 Kg
AGUA =	193,16 Kg
ARENA =	424,12 Kg
RIPIO =	948,84 Kg

Dosificación

0,26 ;	1,00 ;	0,57 ;	1,28
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 9 cilindros de hormigón
Volumen del Cilindro

DATOS :

$$\begin{array}{lcl} \text{ALTURA :} & 20 \text{ cm} & V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H \\ \text{DIAMETRO:} & 10 \text{ cm} & \end{array}$$

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$

Densidad del hormigón = 2.40 Ton/m³

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cantidad de hormigón

Cilindros: 9
 Cantidad: 36,00 kg

$$0,26 \times \quad + 1,00 \times \quad + 0,57 \times \quad + 1,28 \times \quad = 36,00$$

$$x = 11,57 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 36,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,01 lt	0,26
CEMENTO	11,57 kg	1,00
ARENA	6,62 kg	0,57
RIPIO	14,80 kg	1,28

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA :	1,36	0,31

$$\text{ARENA : } 6,62 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 6,55 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 6,62 \text{ kg} \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,07 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 14,80 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 14,55 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 14,80 \text{ kg} \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,25 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$3,01 \text{ lt} + 0,07 \text{ lt} + 0,25 \text{ lt} = 3,33 \text{ lt}$$

LA MEZCLA DE PRUEBA SE FABRICA CON LAS SIGUIENTES CANTIDADES :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,33 lt	0,29
CEMENTO	11,57 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,57
RIPIO	14,55 kg	1,26

Cantidades adicionales que se pusieron en la mezcla por cuestiones de trabajabilidad:

CEMENTO: 0,00 kg

AGUA: 0,50 lt

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,83 lt	0,33
CEMENTO	11,57 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,57
RIPIO	14,55 kg	1,26

DOSIFICACION CORREGIDA:	0,33 ;	1,00 ;	0,57 ;	1,26
-------------------------	--------	--------	--------	------

5.7.1.7 MP6-HAR:

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), 1,5% de aditivo Sikament N 100 (SIKA) y microsílíce Sikafume (SIKA) al 15%.

OBSERVACIONES:

Utilizamos la dosificación de fabricación de la mezcla MP5-HAR la diferencia es que no se adiciona 0,50 lt de agua para darle trabajabilidad, lo que se realiza es dosificar el aditivo, y complementamos colocando en la mezcla una adición del 15% de microsílíce en sustitución de igual porcentaje de cemento, además se realizó un ajuste de la relación $w/(c+p)$, para alcanzar la resistencia promedio requerida, el procedimiento completo de ajuste se indica en la mezcla MP7-HAR.

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm3)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Sikament N100	1,5%	1,22	0,207	0,17
MICROSILICE	Sika fume	15%	-	2,07	-

Agua= $3,58 - 0,17 = 3,41$ lt

Cemento= $13,77 - 2,07 = 11,70$ kg

5.7.1.8 MP7-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm) y 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF).

OBSERVACIONES:

Al igual que la mezcla anterior, la dosificación es igual a la de la mezcla MP5-HAR, pero en lugar de adicionar 0,50 lt de agua, colocamos el 1,5 % de aditivo Glenium 3000 NS, y claro con un ajuste de la relación $w/(c+p)$, que se indica a continuación.

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA PARA OBTENER LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA

Debido a que las mezclas anteriores a pesar de que se ha diseñado para conseguir la resistencia promedio requerida, se ha conseguido resistencias inferiores, en promedio alrededor de 8 a 10 MPa de lo que se espera del diseño, esto se debe a que el material pétreo, no tienen la calidad de excelencia que deseáramos, o que se necesita para estos hormigones de alta resistencia, especialmente el agregado grueso, que presentó unos resultados pésimos en la resistencia al desgaste por abrasión (28%), cuando los requerimientos indican que no debe exceder alrededor del 20%, pero esto no significa de ningún modo que no se pueda conseguir la resistencia requerida que necesitamos para nuestro diseño ($f'_{cr}=59$ MPa) con este material, simplemente se debe ajustar de mejor manera las proporciones.

Es por este motivo que se ha decidido aumentar la cantidad de cemento, disminuyendo una razón igual a 0,03 a la relación final agua / material cementante ($w/(c+p)$), es decir, por ejemplo si la relación final de diseño, como es el caso es de 0.29, se reducirá a 0.26. Esta razón de disminución 0.03 se obtuvo con las tablas del mismo método ACI 211.4R-93 de la siguiente manera: con la resistencia que obtuvimos de los ensayos de las mezclas anteriores, buscamos la relación agua/ material cementante que le corresponde, y simplemente restamos del valor de la relación inicial con la que fabricamos las mezclas.

El autor recomienda este método, como una forma alternativa de corregir el contenido de cemento en una mezcla, una vez que ya se tiene resultados de los ensayos de resistencia, cabe denotar que se debe tener cuidado por si se llegará a presentar un

exceso de finos, y además se debe tener conciencia de que si se reduce aún más la relación agua – material cementante se necesitará una cantidad adicional de aditivo para brindarle trabajabilidad, lo que encarecerá la mezcla.

PASO 1 : Selección del asentamiento y la resistencia requerida

Es recomendable un asentamiento de partida inicial de 1 a 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR , según la Tabla 4.3.1

Asentamiento adoptado:

2 plg

Determinación de la resistencia del hormigón requerida f'_{cr} para utilizar en el procedimiento.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 1400)}{0,90} \quad (2-3)$$

$$f'_{cr} = \frac{(8557 + 1400)}{0,90}$$

$f'_{cr} = 11063 \text{ Psi}$
$f'_{cr} = 76 \text{ MPa}$

PASO 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Basado en los requisitos de resistencia, el tamaño máximo recomendado para los agregados gruesos están dados en la Tabla 4.3.2

T.N.M. =

3/8 plg

10 mm

PASO 3: Seleccionar el contenido óptimo de agregado

El contenido óptimo de agregado grueso recomendado, se expresa como una fracción del peso seco varillado (dry-rodged) (DRUW)[1], están dados en la tabla 4.3.3

M. F. arena = 3,01
TN ripio = 3/8 plg

De
tablas:

0,65

Una vez elegido el óptimo contenido de agregado grueso de tabla 4.3.3 se puede calcular el peso secado en horno (OD) del agregado grueso por yd³ de hormigón usando EQ (4 - 1)

$$\text{Peso del árido grueso (O.D.)} = (\text{Factor del árido grueso} \times \text{DRUW}) \times 27 \quad (4 - 1)$$

$$\text{O.D} = (0,65 \times 91,10 \times 27)$$

$$\text{O.D} = \boxed{1598,88 \text{ lb}}$$

PASO 4: *Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla*

Basado en un asentamiento de 2 plg, y tamaño máximo de agregado grueso 3/8 plg, la primera estimación del agua de mezclado seleccionado de la Tabla 4.3.4 es:

TM : 3/8 plg

Asentamiento : 2 plg

Agua de Mezclado: 320,00 lb/yd³

Contenido de aire atrapado : 3,0%

El contenido de vacíos del agregado fino puede calcularse usando la Ec. (4 - 2).

$$V \% = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente compactada}}{\text{Peso Específico} \times 62,4} \right) \times 100 \quad (4 - 2)$$

$$V \% = \left(1 - \frac{102,34}{159,12} \right) \times 100$$

$$V \% = 35,7 \%$$

Cuando se utiliza un agregado fino con un contenido de vacíos no igual al 35 %, se efectuará un ajuste al contenido de agua de mezclado recomendada.

Este ajuste puede calcularse utilizando la ecuación (4-3).

$$\text{lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (4-3)$$

$$5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

Por lo tanto, el agua de la mezcla total requerida por yd^3 de hormigón es :

$$320,0 \text{ lb/ yd}^3 + 5,49 \text{ lb/ yd}^3$$

$$325,49 \text{ lb/ yd}^3$$

PASO 5: *Selección w / (c + p)*

Para el hormigón a realizar, utilizando un aditivo HRWR y T.M.N. de 3/8 plg utilizamos la Tabla 4.3.5 (a)

A pesar que la resistencia requerida de la mezcla de prueba de laboratorio es de 11100 psi, el valor que se utiliza en las tablas es:

$$0,90 \times f'_{cr} = f'_c + 1400 = 9990 \text{ Psi}$$

$$\text{TNM} = 3/8 \text{ plg}$$

De la tabla 4.3.5 (a) :

LIMITES	9000	0,30
	10000	0,26

$$\text{INTERPOLADO : } \boxed{0,2604}$$

PASO 6: *Calcular el contenido de material cementante*

El peso del cemento por yd^3 de hormigón es:

$$\frac{325,49 \text{ lb}}{0,2604} = 1250,0 \text{ lb}$$

PASO 7: *Proporción básica de la mezcla sólo con cemento*

1. Contenido de cemento por yd^3 = 1250,0 lb

2. Los volúmenes por yd^3 de todos los materiales, excepto la arena son como sigue:

Cemento =	6,59 ft ³
El agregado grueso =	9,89 ft ³
Agua =	5,22 ft ³
Aire =	0,81 ft ³
Volumen total =	22,51 ft ³

Por lo tanto, el volumen requerido de arena por yd^3 de hormigón es:

$$27 - 22,51 \text{ ft}^3 = \boxed{4,49 \text{ ft}^3}$$

Convirtiendo esto a peso de arena, seco, por yd^3 de hormigón, el peso requerido de arena es:

$$\boxed{4,49 \text{ ft}^3 \times 159,1 \text{ lb/ft}^3 = 714,7 \text{ lb}}$$

Cantidades de materiales en (lb) por yd^3 de hormigón :

Cemento	1250,0 lb
Arena, seca	714,7 lb
El agregado grueso, seco	1598,9 lb
Agua, de los cuales 3 oz / CWT * retardante mezcla	325,5 lb

Conversión: Cantidades de materiales en (kg) por m^3 de hormigón :

CEMENTO =	741,78 Kg
AGUA =	193,16 Kg
ARENA =	424,12 Kg
RIPIO =	948,84 Kg

Dosificación

0,26 ;	1,00 ;	0,57 ;	1,28
--------	--------	--------	------

Cálculo de Cantidades para fabricar 10 cilindros de hormigón

Volumen del Cilindro

DATOS :

$$\begin{array}{ll} \text{ALTURA :} & 20 \text{ cm} \\ \text{DIAMETRO:} & 10 \text{ cm} \end{array} \quad V_{\text{cilindro}} = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

$$V = 1570,80 \text{ cm}^3$$

$$V = 1,57 \text{ m}^3$$
$$\text{Densidad del hormigón} = 2.40 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Masa del cilindro} = 3,77 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del cilindro adoptado} = 4,00 \text{ kg}$$

Cantidad de hormigón

Cilindros: 10
Cantidad: 40,00 kg

$$0,26 \times \quad + 1,00 \times \quad + 0,57 \times \quad + 1,28 \times \quad = 36,00$$

$$x = 12,86 \text{ kg}$$

DOSIFICACION INICIAL PARA : 40,00 kg

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,35 lt	0,26
CEMENTO	12,86 kg	1,00
ARENA	7,35 kg	0,57
RIPIO	16,45 kg	1,28

CORRECCION POR HUMEDAD :

		% de absorción	% de humedad
En laboratorio se obtiene :	RIPIO :	2,24	0,49
	ARENA :	1,36	0,31

$$\text{ARENA : } 7,35 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,31}{100 + 1,36} \right) = 7,27 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 7,35 \text{ kg} \left(\frac{1,36 - 0,31}{100 + 1,36} \right) = 0,08 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA A LA ARENA}$$

$$\text{RIPIO : } 16,45 \text{ kg} \left(\frac{100 + 0,49}{100 + 2,24} \right) = 16,16 \text{ kg} \quad \text{SECO AL AIRE}$$

$$\text{AGUA : } 16,45 \text{ kg} \left(\frac{2,24 - 0,49}{100 + 2,24} \right) = 0,28 \text{ lt} \quad \text{LE FALTA AL RIPIO}$$

CORRECCION DEL AGUA :

$$3,35 \text{ lt} + 0,08 \text{ lt} + 0,28 \text{ lt} = 3,71 \text{ lt}$$

LA MEZCLA DE PRUEBA SE FABRICA CON LAS SIGUIENTES CANTIDADES :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,71 lt	0,29
CEMENTO	12,86 kg	1,00
ARENA	7,27 kg	0,57
RIPIO	16,16 kg	1,26

CORRECCION DE LA DOSIFICACION PARA PRODUCIR LA RESISTENCIA DESEADA

Aumentamos el factor cemento reduciendo la relación agua-material cementante.

RELACION $w / (c+p) = 0,26$; Entonces: m. cementante $(c+p) = w / 0.26$

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,71 lt	0,26
CEMENTO	14,25 lt= 3,71 / 0,26	1,00
ARENA	7,27 lt	0,51
RIPIO	16,16 lt	1,13

Recalculando Cantidad de hormigón para 10 cilindros:

Cilindros :	10
Cantidad :	40,00 kg

$$0,26 \times x + 1,00 \times x + 0,51 \times x + 1,13 \times x = 40,00 \text{ kg}$$

$$x = 13,77 \text{ kg}$$

DOSIFICACION FINAL PARA LA ELABORACION :

40,00 kg

MATERIAL	PESO	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Dosificación :

Glenium 3000 NS	
Porcentaje :	1,50 % del peso del cemento
PESO :	0,207 kg
VOLUMEN :	0,193 litros
	193,06 cm3

5.7.1.9 MP8-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm) y 3,0% de aditivo Sikament N100 (SIKA).

OBSERVACIONES:

Con la dosificación anterior, aumentamos la cantidad de aditivo Sikament- N100 al 3%, para brindarle mayor trabajabilidad a la mezcla ya que la mezcla MP6-HAR realizada utilizando el 1.5% de aditivo y 15% de microsílíce, fue muy seca, y por los resultados se deduce que eso no permitió compactar de forma adecuada los cilindros, con esta dosificación de aditivo esperamos evaluar de mejor manera el comportamiento del aditivo en la mezcla y la ganancia de resistencia.

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICIO N	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm3)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Sikament N 100	3,0%	1,22	0,413	0,339
MICROSILICE	-	-	-	-	-

Agua= 3,58-0,339= 3.24 lt

5.7.1.10 MP9-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 5 % de microsílíce Rheomac SF 100 (BASF).

OBSERVACIONES:

Vamos a evaluar la utilización de microsílíce en la mezcla, anteriormente fabricamos la mezcla MP6-HAR con microsílíce Sikafume (SIKA) al 15% y aditivo Sikament N100 (SIKA), sin tener buenos resultados, ahora vamos a probar con la mezcla con la que hemos obtenido los mejores resultados hasta este punto, la mezcla MP7-HAR fabricada con 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF), a la que añadiremos la microsílíce de la misma empresa, para evitar problemas de compatibilidad; microsílíce Rheomac SF 100 (BASF), en porcentajes 5, 8, y 10%, mezclas: MP9-HAR, MP10-HAR, MP11-HAR, respectivamente.

Es importante recordar, que la cantidad de aditivo que se colocará se debe reemplazar por la igual cantidad de agua de mezcla, así como la cantidad de microsílíce adicionada debe ser sustituida por la misma cantidad de cemento, esto lo hacemos para evitar que se altere la relación agua-material cementante con la que hemos diseñado.

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUM EN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	5,0%	-	0,69	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-0,69= 13,08 kg

5.7.1.11 MP10-HAR:

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 8 % de microsilíce Rheomac SF 100 (BASF). La definiremos como nuestra mezcla patrón.

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	8,0%	-	1,10	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-1.10= 12,67 kg

5.7.1.12 MP11-HAR

Mezcla con material lavado y clasificado con corrección de granulometría, con un agregado grueso de TNM= 3/8pulg (9,5mm), utilizando 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS y 10 % de microsílíce Rheomac SF 100 (BASF).

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	10,0%	-	1,38	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-1,38= 12,39 kg

Existe una nueva variable no considerada en las mezclas anteriores y es el equipo utilizado para el mezclado, las 11 mezclas anteriores fueron realizadas en la máquina denominada planetaria, que tiene un tambor inferior giratorio en donde se coloca el material y en la parte superior un sistema de paletas independiente que hace que el mezclado sea homogéneo y a gusto del operador, idóneo para este tipo de hormigón de alta resistencia, pero por apenas colocar 40kg de material para 10 cilindros que era lo máximo que se permitía en este equipo, es insuficiente para realizar los 12 cilindros que se requiere en las mezclas definitivas, así como los 15 cilindros recomendados para el cálculo de la desviación estándar y la resistencia característica. Es por ello que para el mezclado de las 3 mezclas de este literal así como para la mezcla definitiva se utilizó concretera normal, este es un factor que sin duda influencia en la calidad de la mezcla.

Selección una alternativa

De las dosificaciones del numeral 5.7.1 seleccionamos la mezcla MP10-HAR, que fue fabricada con agregados lavados y seleccionados, con granulometría corregida, con un TNM del agregado grueso igual a 3/8 pulg. (19mm), 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y microsílice Rheomac SF100 (BASF) al 8%.

Él porque es simple, la resistencia es muy cercana a la resistencia requerida, además se tenía una adecuada trabajabilidad, densidad, sin presencia de segregación, y con un aspecto ideal de la mezcla. También pudieron seleccionarse otras mezclas de excelente calidad en cuanto a resistencia y trabajabilidad, como por ejemplo la MP7, MP8, o la MP11. Pero a criterio del autor la MP10 es la mejor.

Para obtener la resistencia requerida con mayor precisión, simplemente nos enfocaremos en variar un punto porcentual, (0.01) la relación agua-material cementante de la mezcla MP10-HAR. Así constituiremos tres dosificaciones. Para cada dosificación vamos a preparar 3 probetas para cada ensayo de resistencia a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días, que suman 9 probetas por dosificación, que a continuación se presentan:

Cálculo de dosificaciones

5.7.1.13 MP10-A1-HAR

5.7.1.14 MP10-A2-HAR

5.7.1.15 MP10-A3-HAR

El diseño se encuentra a detalle desarrollado en la Mezcla: MP7-HAR.

Tomamos la dosificación de fabricación para 10 cilindros, obtenida del diseño después de la corrección de humedad y ajustamos el factor cementante y determinamos las proporciones para 10 cilindros. Hacemos el diseño para 10 cilindros a pesar que necesitamos solo 9 considerando que se presentan pérdidas de material en el proceso de fabricación, por ejemplo se queda pegado en las paredes de la concretera, o se derrama al piso al verter en los moldes, entre otras.

Cilindros :

10

Cantidad :

40,00 kg

Proporciones (10 cilindros pequeños) $w / (c+p) = 0,26$		
MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13
SUMATORIA	40,00 kg	

Ahora variando un punto porcentual, de la misma forma que realizamos el ajuste del factor cementante para la relación $w / (c+p) = 0,26$, lo hacemos para 0,27 y 0,28

- $w / (c+p) = 0,27$; material cementante $(c+p) = w / 0,27$
- $w / (c+p) = 0,28$; material cementante $(c+p) = w / 0,28$

Ajuste del Factor Cementante para $w / (c+p) = 0,27$		
MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,71 lt	0,27
CEMENTO	13,72 kg=3,71/0,27	1,00
ARENA	7,27 kg	0,53
RIPIO	16,16 kg	1,18

$$0,27 X + 1,00 X + 0,53 X + 1,18 X = 40$$

$$X = 13,43 \text{ kg}$$

Proporciones (10 cilindros pequeños) para $w / (c+p) = 0,27$		
MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,63 lt	0,27
CEMENTO	13,43 kg	1,00
ARENA	7,12 kg	0,53
RIPIO	15,82 kg	1,18
SUMATORIA	40,00 kg	

Ajuste del Factor Cementante para $w / (c+p) = 0,28$		
MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,71 lt	0,28
CEMENTO	$13,25 = 3,71 / 0,28$	1,00
ARENA	7,27 kg	0,55
RIPIO	16,16 kg	1,22

$$0,28 X + 1,00 X + 0,53 X + 1,18 X = 40$$

$$X = 13,11 \text{ kg}$$

Proporciones (10 cilindros pequeños) para $w / (c+p) = 0,28$		
MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,67 lt	0,28
CEMENTO	13,11 kg	1,00
ARENA	7,21 kg	0,55
RIPIO	16,01 kg	1,22
SUMATORIA	40,00 kg	

Para las 3 alternativas de dosificación:

Proporciones (para 10 cilindros pequeños)						
Material	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	Peso (kg)	Dosificación	Peso (kg)	Dosificación	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,58	0,26	3,63	0,27	3,67	0,28
CEMENTO	13,77	1,00	13,43	1,00	13,11	1,00
ARENA	7,03	0,51	7,12	0,53	7,21	0,55
RIPIO	15,62	1,13	15,82	1,18	16,01	1,22
SUMA	40,00		40,00		40,00	

Por el hecho de que las 3 alternativas de mezclas de prueba se realizaron utilizando la concretora, a diferencia de las 11 mezclas anteriores que se realizaron en la planetaria, fue necesario incrementar el porcentaje de aditivo Glenium 3000 NS de 1,5% a 3,0% para que la mezcla tenga buenas condiciones de trabajabilidad, porcentaje que fue determinado en el desarrollo de estas mezclas. La microsílce Rheomac SF 100 mantenemos en un 8% del peso del cemento.

Alternativa 1					
ADITIVO/ADICION	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm3)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	3,0%	1,07	0,413	0,386
MICROSILICE	Rheomac SF 100	8,0%	-	1,10	-

Alternativa 2					
ADITIVO/ADICION	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm3)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	3,0%	1,07	0,403	0,377
MICROSILICE	Rheomac SF 100	8,0%	-	1,07	-

Alternativa 3					
ADITIVO/ADICION	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm3)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	3,0%	1,07	0,393	0,368
MICROSILICE	Rheomac SF 100	8,0%	-	1,05	-

Tabla resumen de cantidades:

Proporciones (para 10 cilindros pequeños)						
Material	MPA1: Alternativa 1		MPA2: Alternativa 2		MPA3: Alternativa 3	
	Peso (kg)	Dosificación	Peso (kg)	Dosificación	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,17	0,26	3,23	0,27	3,28	0,28
CEMENTO	12,67	1,00	12,36	1,00	12,06	1,00
ARENA	7,03	0,51	7,12	0,53	7,21	0,55
RIPIO	15,62	1,13	15,82	1,18	16,01	1,22
	Peso (kg)	Volumen (Lt)	Peso (kg)	Volumen (Lt)	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENIUM 3000 NS al 3,0%	0,41	0,39	0,40	0,38	0,39	0,37
MICROSILIC E RHEOMAC SF 100 al 8%	1,10	-	1,07	-	1,05	-
SUMA	40,00		40,00		40,00	

5.7.2 Probetas de 10x20 cm

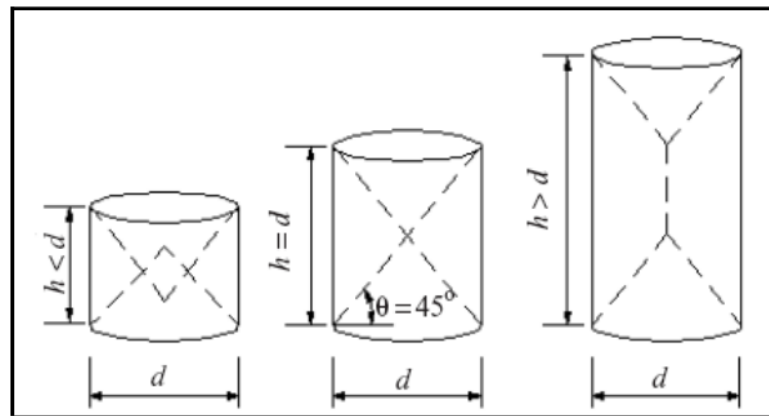
Generalmente los cilindros estándar para medir la resistencia a la compresión del hormigón tienen una altura igual a 2 veces su diámetro, es decir una relación de esbeltez (altura/diámetro) igual a 2; porque es lo ideal para que el hormigón falle por esfuerzos axiales, ya que en los casos en que la relación de esbeltez es menor puede presentarse una falla por corte que distorsiona el valor real de la resistencia a la compresión, es por ello que en el caso de utilizarse probetas con diferentes relaciones (altura/diámetro), la NTE INEN 1573 presenta la siguiente tabla:

Tabla 21 Factor de corrección para la resistencia a la compresión según la relación altura/diámetro del cilindro

H/D:	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Fuente: NTE INEN 1573, 2010, pag 7, Tabla 3.

Figura 29 Tipo de falla para cilindros de diferente esbeltez



Fuente: ALDANA, R., Estudio experimental de resistencias a compresión del hormigón: correlación entre resultados de probetas cúbicas y probetas cilíndricas, Tesis, pag. 12, Chile, 2008.⁶⁰

Con el fin de evitarse estos factores de corrección, en esta investigación sobre hormigones de alta resistencia se utilizaron los especímenes cilíndricos de 10cm de diámetro por 20cm de altura (4 por 8 pulgadas), en lugar de los cilindros de 15cm de diámetro por 30cm de altura (6 por 12 pulgadas), que recomiendan mayormente las normas, ya que bajo estas dimensiones se necesita una menor capacidad de carga de la máquina de prueba para llevar al cilindro hasta la falla, en nuestro caso la capacidad de la máquina de ensayo utilizada fue de 100 Toneladas, que si se hubieran empleado los cilindros de 15cm de diámetro por 30 de altura, la capacidad de la máquina no hubiera sido suficiente para medir la resistencia promedio requerida de las mezclas ($f'_c=59\text{MPa}$).

Además las muestras de 10 por 20 cm ocupan menos espacio en la cámara de curado, así como sus moldes en los laboratorios de materiales, un factor importante a considerarse cuando se fabrican varias mezclas de prueba, por todos estos antecedentes fue conveniente el empleo de las probetas pequeñas de 10*20 (cm).

⁶⁰ Disponible en http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/aldana_ro/sources/aldana_ro.pdf

Figura 30 Probetas cilíndricas de hormigón, se utilizaron las pequeñas de 10*20cm (derecha) para determinar la resistencia a la compresión.



Fotografía: MOYANO, J., Noviembre / 2013

Figura 31: Máquina universal de capacidad 100 Toneladas, para ensayo a la compresión de las probetas cilíndricas de hormigón



Fotografía: MOYANO, J., Diciembre / 2013

Es relevante recalcar que un ensayo individual de resistencia, según el numeral 5.6.2.4 del Código (ACI 318S-08, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario, 2008), está definido como el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .

El ensayo de tres cilindros 100 por 200 mm mantiene el nivel de confianza de la resistencia promedio ya que los cilindros tienden a tener variabilidades propias del ensayo aproximadamente un 20 por ciento mayores que las correspondientes para ensayos de 150 por 300mm.

5.7.3 Preparación de 9 probetas por alternativa con tres dosificaciones

Los cilindros de prueba se fabricaron conforme al siguiente procedimiento:

a) Preparación de los materiales:

Una vez seleccionados, y en las condiciones estudiadas en la dosificación (lavados, tamizados, corregidos granulométricamente, adecuadamente almacenados protegidos sus condiciones de humedad, etc), se procede a medir independientemente todos los ingredientes según las proporciones que se obtuvieron en el diseño, medición que generalmente se realiza en peso, aunque por facilidad, el aditivo y el agua pueden medirse en volumen.

b) Preparación de todas las herramientas y equipos necesarios:

-Moldes.- Incluye ajustar y engrasar con una delgada capa de lubricante las paredes del molde, además se debe identificar cada uno de los moldes con una etiqueta que contenga el nombre de la mezcla, el número de molde la fecha, etc, y registrar su peso vacío, esto último para el ensayo de densidad del hormigón fresco.

-Equipo de mezclado (concreta, planetaria).- Incluye limpiar y lubricar finamente con agua su superficie (lo mínimo hasta que se pueda dejar una huella dactilar), para evitar dicho equipo sustraiga humedad a la mezcla y distorsione la relación agua/material cementante.

-Todas la herramientas y equipos: equipo de mezclado, moldes, probetas, recipientes o bandejas para el vertido del hormigón, palas, palustres, llanas, martillos de goma, varilla de compactación, cono de Abrams para el ensayo de asentamiento, equipos para demás ensayos en hormigón fresco deberán cumplir los requisitos de exigidos por la ASTM C33, que describe los procedimientos para preparar y curar

especímenes cilíndricos de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción.

c) Colocación de los materiales en el equipo de mezclado (concretera, planetaria):

Mezclar hormigones convencionales, no es lo mismo que mezclar hormigones de alta resistencia, esto por varias razones como por ejemplo: por la mayor presencia de materiales cementantes (cemento mas microsílíce) con respecto al volumen de áridos; por la poca cantidad de agua, por la muy baja relación $w/(c+p)$; por la inclusión de aditivos superfluificantes, o reductores de agua de alto poder, cuya incorporación puede ser mucho mayor inclusive llegar a estar por fuera del rango recomendado por los fabricantes, entre otras.

Es por ello, que esta labor de colocación de los materiales para el mezclado del hormigón de alta resistencia, a la vez de ser un parámetro principal para producir el HAR, puede ser muy crítico, si no se lo realiza correctamente, de ahí la importancia de establecer un orden adecuado de colocación.

ORDEN DE COLOCACIÓN:

En la presente investigación, luego de realizar varios intentos, para establecer un orden adecuado de mezclado, los materiales se colocaron de la siguiente manera:

- 1.- Colocamos la totalidad de ripio, clasificado en tamaños por la corrección granulométrica, y esperamos que se mezcle durante 30 segundos.
- 2.- Colocamos la totalidad de arena, y de igual forma esperamos que se mezcle durante 30 segundos, la mezcla de agregados.
- 3.- Se coloca la cantidad de agua aproximada para que los agregados lleguen al estado SSS, o un poco más húmedos, (cálculo del agua de corrección por humedad), esperamos otros 30 segundos, esto cuando están secos en el ambiente con respecto a

su porcentaje de absorción, si están húmedos en el ambiente es prudente colocar solo una poca cantidad de agua.

4.- Cuando se utiliza microsílíce, se pone la totalidad y se espera 30 segundos que se mezcle con los áridos en estado SSS.

5.- Luego se pone el cemento por fases; colocamos aproximadamente la mitad, junto con a mitad del agua de mezclado (agua que sobró sustrayendo el agua por corrección de humedad), esperamos que se mezcle otros 30 segundos, y nuevamente repetimos el proceso: mitad de cemento con mitad de agua y esperamos que se mezcle todo por un minuto y medio a dos minutos, o hasta que actúe el aditivo.

6.- Colocación del aditivo: Es fundamental ver las especificaciones del fabricante para la colocación del aditivo, en nuestro caso el aditivo Glenium 3000 NS un aditivo superfluidificante y reductor de agua de alto rango, a base de policarboxilatos que el fabricante recomienda colocar antes o después del mezclado, pero por las experiencias en esta investigación se estima un tiempo entre 2 a 4 minutos para que este aditivo actúe, produciendo un hormigón súper fluido y autocompactante, que se mantiene aproximadamente por 25 minutos, antes de que se endurezca, tiempo suficiente para compactar los cilindros, es por ello que se disolvió en la última proporción de agua y se revolvió la mezcla en la concretera hasta que el aditivo actúe.

Otros autores recomiendan procedimientos tales como; que se coloque primero la microsílíce, luego los áridos junto al 75% del agua, esperar un tiempo prudencial que se mezcle todo, poner el 100% de cemento, esperar que se revuelva otro lapso de tiempo y colocar el aditivo superfluidificante con el 25 % restante de agua.

Cada mezcla será diferente, pero en lineamientos generales el mezclado propuesto en esta investigación funcionará muy bien para conseguir un hormigón lo más homogéneo posible, nunca apartado del buen criterio y experiencia del fabricante.

Es relevante indicar que el mezclado depende mucho del equipo que se utilice para este fin, por ejemplo un mezclado en concreteira no es igual a uno realizado en planetaria; por la disposición de las aspas el mezclado en la planetaria es mucho mejor y más uniforme que en la concreteira; se demostró que existe una variación significativa de la cantidad de aditivo requerido para fluidificar la mezcla de 1,5% a 3,0% solo al cambiar de equipo de mezclado para la fabricación de las mezclas.

d) Realización de pruebas en hormigón fresco

Ensayo del cono de Abrams, valoración de la trabajabilidad y consistencia, segregación, exceso de finos, etc., referirse a normas de bibliografía.

e) Vertido del hormigón fresco en los moldes

El vertido del hormigón fresco en cada molde se realizará progresivamente en tres capas, aproximadamente iguales de 6,7 cm, (1/3) de la altura del cilindro, con una compactación por cada capa de 25 golpes con la varilla de punta redondeada, así como con una vibración con igual número de golpes por capa, pero con los martillos de goma. Luego se procede a enraizar correctamente las superficies de los cilindros con las llanas para evitar que se produzcan malos acabados, que después provoquen especímenes defectuosos.

f) Etiquetar a los cilindros

Para facilitar la labor de reconocimiento de las probetas y evitar pérdidas y confusiones en la cámara de curado, cuarto de refrentado, o al momento de ensayar y registrar los resultados, se debe colocar etiquetas para identificar claramente a los cilindros, con los nombres de la mezcla, número de cilindros, fecha, y otros detalles particulares.

g) Enfundar los cilindros (Método de curado anticipado)

Para evitar que los cilindros pierdan agua de mezclado que servirá para la hidratación de todas las partículas del material cementante, y adquisición de resistencia; al momento de terminar de fabricar los cilindros, se colocó fundas plásticas aseguradas a los moldes con cinta adhesiva o ligas, que nos aseguró que no se pierda el agua interior de nuestros cilindros frescos, durante su fraguado, además se colocó los cilindros de forma que se encuentren protegidos de la radiación directa del sol.

h) Desencofrado de los cilindros

Una vez que el hormigón ha fraguado por completo se procede a retirar los moldes (en este caso metálicos), dejando por su puesto limpios y con sus tornillos ajustados, así también retiramos las fundas plásticas.

i) Curado estándar

Para mantener un curado continuo se deben introducir tan pronto como sea posible, los cilindros, en la cámara de curado estándar que se encuentra a la temperatura de 24°C, con presencia de agua de forma ininterrumpida, distribuida con la ayuda de aspersores, cámara donde permanecerán los cilindros hasta el día de su ensayos. Hay que tener cuidado de no colocar los cilindros para que las gotas de agua caigan directamente sobre su superficie. Otro método alternativo de curado, en el caso de no contar con la cámara de curado estándar, es sumergir por completo a los cilindros en recipientes que contengan una solución de cal en un 4 a 6%.

5.7.4 Capping (Estudio)

Según la NTE INEN 1573, (2010):

Antes de ser ensayados, ningún extremo de los especímenes cilíndricos, debe apartarse de la perpendicularidad a los ejes, en más de 0,5° (aproximadamente equivalente 1mm en 100 mm). Los extremos de los especímenes para ensayo de compresión que no estén planos dentro de 0,050 mm deben ser cortados o limados para cumplir esta tolerancia o a su vez se deben refrentar con mortero de azufre de

acuerdo (Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2649, Hormigón de Cemento Hidráulico. Refrentado de Especímenes Cilíndricos para la Determinación de la Resistencia a la Compresión, 2012).

Concepto y composición:

El Capping es un mortero compuesto aproximadamente del 30% de pomacita (piedra pómez) y el 70 % de azufre, materiales que finamente molidos se calientan hasta elevadas temperaturas, produciéndose una pasta que rápidamente a temperatura ambiente se endurece y adquiere gran resistencia en poco tiempo. Este mortero es un método de refrentado, el más ampliamente usado, que se coloca sobre las superficies terminadas y endurecidas de los especímenes cilíndricos para otorgarles la planicidad y paralelismo a las caras de los cilindros así como la perpendicularidad con respecto al eje axial del cilindro, para que los cabezales de las máquinas de compresión puedan aplicar correcta y uniformemente las cargas sobre toda la superficie del espécimen, y no solo en puntos específicos que no permitan evaluar correctamente la resistencia del hormigón.

Existen también otros métodos para otorgar la planicidad y perpendicularidad a las superficies de los cilindros, el más recomendado es el pulido o limado de las superficies, y por supuesto el refrentado o recubrimiento utilizando: capas de cemento puro, yeso de alta resistencia como material cementante y el estudiado mortero de azufre o capping.

Tiempo de endurecimiento recomendado:

Los morteros de azufre preparados en el laboratorio deben tener un tiempo de endurecimiento de al menos 2 horas antes de que se ensayen cilindros de hormigón con una resistencia inferior a 35 MPa. Para cilindros de hormigón con una resistencia de 35 MPa o mayor, las capas de mortero de azufre deben tener un tiempo de endurecimiento de al menos 16 horas antes del ensayo, a menos que se demuestre que un tiempo más corto es adecuado, según la resistencia obtenida de los cubos de

mortero de azufre de 5 cm de lado, fabricados de acuerdo a la norma NTE INEN 488, igual que para los morteros de cemento.

Límites recomendados:

Se espera que la resistencia de los cilindros pulidos sea mayor que la resistencia presentada por los cilindros refrentados, o en general sean muy semejantes, para hormigones de alta resistencia sobre los 70 MPa, se recomienda el pulido de las superficies, hasta los límites de la ASTM C 39, porque se supone capping no será suficiente para soportar los esfuerzos de esa magnitud y fallará antes que los especímenes cilíndricos.

Espesor recomendado:

El espesor del capping debe ser tan delgado como sea práctico, en el rango de 1.6 a 3 mm para especímenes de concreto de alta resistencia. A pesar es importante que se corrijan las condiciones irregulares de los extremos previamente al refrentado. Las condiciones irregulares de las bases y los huecos de aire entre la cabeza y las superficies de las bases del cilindro pueden afectar adversamente la resistencia medida a compresión.

.Recomendación para investigar otro método de refrentado:

El autor ha incursionado utilizando un producto fabricado a partir de la resina de poliéster que agregando aproximadamente un 2% de acelerador cobalto, y luego 2% de catalizador peróxido de MEK (Metil-Etil-Cetona), produce una estructura adherente, y moldeable que se vuelve muy fuerte y resistente en poco tiempo, con resistencias mecánicas sobre los 100 MPa, que con un adecuado método de empleo puede ser aplicable como un método de refrentado (se deberá investigar mucho aún sobre este procedimiento y su dosificación), estos productos son fáciles de adquirir y muy utilizados actualmente en la industria de las pinturas y recubrimientos.

Además de paso la utilización de estas resinas de poliéster insaturado, poliamidas, policarbonatos, nylons, resinas epoxi, entre otras, es un mundo totalmente novedoso

para el hormigón de alta resistencia, que en otros países ya se está investigado y se encuentra en pleno desarrollo, el autor recomienda seguir realizando ambiciosamente este tipo de investigaciones en nuestro país para producir concretos de ultra alta resistencia y conseguir resistencias mecánicas sobre los 200 MPa.⁶¹

5.7.5 Ensayos a compresión y densidad de probetas a la edad de 3, 7 y 28 días.

A continuación se presentan los resultados de densidad y resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días de edad, de las 11 mezclas de prueba para determinar la mezcla patrón (MP1-HAR hasta MP11-HAR) y de las tres mezclas de prueba a base de la patrón (MP10-A1-HAR, MP10-A2-HAR, MP10-A3-HAR), para determinar las proporciones óptimas y elegir una mezcla definitiva; conforme a lo estipulado en la NTE INEN 1573:

- Los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo se deben realizar, tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo.
- Los especímenes se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el período comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo; además deben de llevarse a la falla dentro de la tolerancia admisible de tiempo que se indica a continuación:

Tabla 22 Tolerancia de tiempo para los ensayos de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0,5 h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Fuente: NTE 1573, Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, 2010, pag.6, tabla N°2.

⁶¹ http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&ved=0CF0QFjAF&url=http%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F13543%2FPPFG_ADRIANA_CASTELLES_E.docx%3Fsequence%3D1&ei=SG7wUoSOEoHWkQfZ44CoDg&usg=AFQjCNGsr_Ui6hWFZWlapBxHgDMyxIcUjA&sig2=c7G23dgKBOOFFtv1o_QcuQ



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.1 MP1-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE
LAFARGE

FECHA : 18 DE JUNIO DEL 2013

MEZCLA: MP1-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 1/2 pulg, de
granulometría

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 9 cilindros :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	4,64	0,36
CEMENTO	12,89	1,00
ARENA	6,23	0,48
RIPIO	15,80	1,23

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE / MARCA	%	DENS.(g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (cm ³)
ADITIVO	-	-	-	-	-
MICROSILICE	-	-	-	-	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	3,1 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON FRESCO							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES MOLDE		VOLUMEN RECIPIENTE	PESO MOLDE VACIO	PESO MOLDE + HORMIGON FRESCO	PESO HORMIGON FRESCO	DENSIDAD HORMIGO N FRESCO
	DIAMETRO PROM	ALTURA PROM					
	cm	cm	cm ³	g	g	g	g/cm ³
1	10,0	20	1570,8	4484	8350	3866	2,46
2	10,0	20	1570,8	4397	8232	3835	2,44
3	10,4	20	1699,0	3709	7780	4071	2,40
5	10,2	20	1634,3	4465	8340	3875	2,37
6	10,0	20	1570,8	4470	8288	3818	2,43
7	10,2	20	1634,3	4443	8280	3837	2,35
8	10,0	20	1570,8	4405	8225	3820	2,43
9	10,0	20	1570,8	4479	8330	3851	2,45
10	10,2	20	1634,3	3957	7745	3788	2,32
						PROM=	2,41

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,3	10,3	20,0	20,00	1677,26	4070	2,43
	10,3		20,0				
	10,4		20,0				
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3888	2,36
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
10	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3860	2,36
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,38



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,1	10,2	20,0	20,00	1623,59	3818	2,35
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,3	10,2	20,0	20,00	1644,96	3850	2,34
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,1	20,0	20,00	1602,37	3851	2,40
	10,0		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,37

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3897	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3888	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3885	2,39
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,39



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
6 DE JUNIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			w / (c+p)	Kg	Kg/cm²
3	10,3	10,3	0,36	28387,8	338,50	33,20	47,49
	10,3						
	10,4						
5	10,2	10,2		26777,2	325,57	31,93	45,68
	10,3						
	10,2						
10	10,2	10,2		28060,5	343,40	33,68	48,18
	10,2						
	10,2						
				PROM=	335,82	32,93	47,11

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
10 DE JUNIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	w / (c+p)	Kg	Kg/cm²	MPa	%
2	10,1	10,2	0,36	35464,6	436,87	42,84	61,29
	10,2						
	10,2						
6	10,3	10,2		36877,6	448,37	43,97	62,90
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,1		37057,1	462,53	45,36	64,89
	10,0						
	10,1						
				PROM=	449,26	44,06	63,03



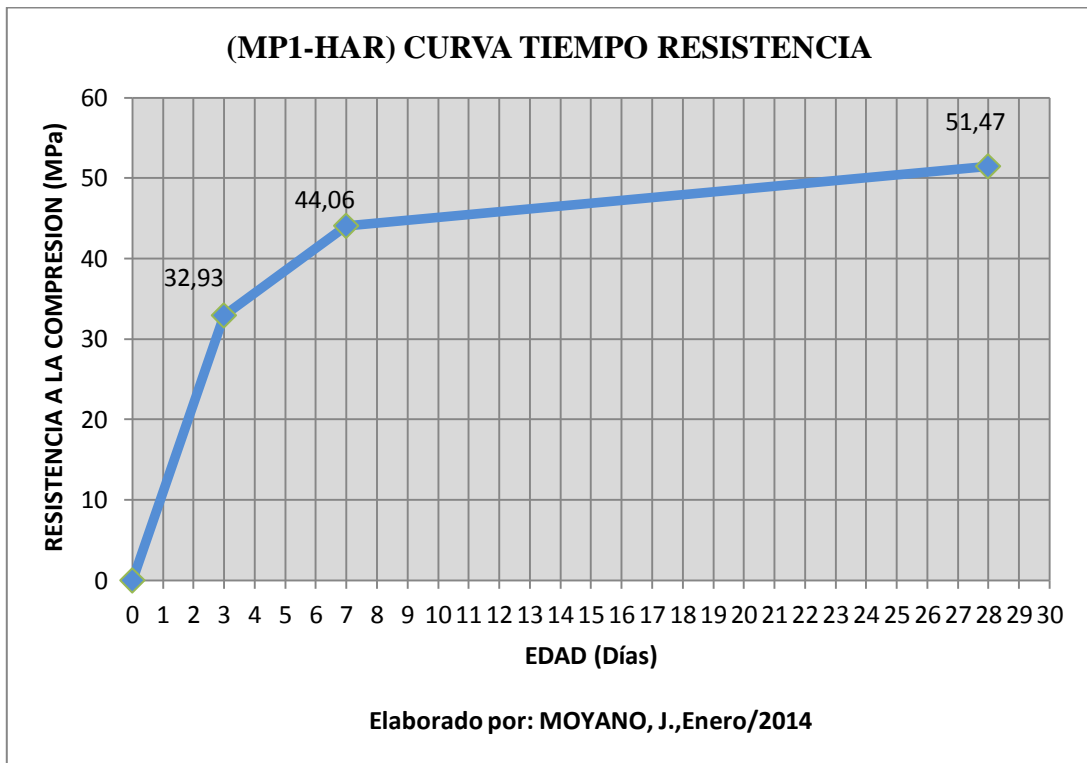
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
1 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
1	10,2	10,2	0,36	41440,7	507,15	49,73	71,15
	10,2						
	10,2						
7	10,2	10,2		44467,7	544,19	53,37	76,35
	10,2						
	10,2						
9	10,2	10,2		42467,6	523,13	51,30	73,39
	10,1						
	10,2						
				PROM=	524,83	51,47	73,63

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
	Días	Kg/cm ²	MPa
			% CON RESPECTO A f'cr
	0	0	0,00
	3	335,82	32,93
	7	449,26	44,06
	28	524,83	51,47



Gráfico 1 Curva tiempo resistencia MP1-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.2 MP2-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE
LAFARGE

FECHA : 18 DE JUNIO DEL 2013

MEZCLA: MP2-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Pozolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 1/2 pulg, de granulometría

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 9 cilindros :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	4,50 lt	0,37
CEMENTO	12,13 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,54
RIPIO	15,09 kg	1,24

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (cm ³)
ADITIVO	-	-	-	-	-
MICROSILICE	-	-	-	-	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	3,0 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON FRESCO							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES MOLDE		VOLUMEN RECIPIENTE	PESO MOLDE VACIO	PESO MOLDE + HORMIGON FRESCO	PESO HORMIGON FRESCO	DENSIDAD HORMIGO N FRESCO
	DIAMETRO PROM	ALTURA PROM					
	cm	cm	cm ³	g	g	g	g/cm ³
1	10,0	20	1570,80	4392	8304	3912	2,49
2	10,0	20	1570,80	4498	8390	3892	2,48
3	10,4	20	1698,97	3864	7673	3809	2,24
4	10,0	20	1570,80	4400	8262	3862	2,46
5	10,2	20	1634,26	3889	7946	4057	2,48
6	10,0	20	1570,80	4463	8392	3929	2,50
7	10,2	20	1634,26	4460	8286	3826	2,34
8	10,0	20	1570,80	4430	8320	3890	2,48
9	10,0	20	1570,80	3762	7814	4052	2,58
10	10,2	20	1634,26	3858	7774	3916	2,40
						PROM=	2,44

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm	cm³	g	g/cm³
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3856	2,36
	10,1		20,0				
	10,3		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3882	2,39
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,2	10,2	20,2	20,27	1666,89	3865	2,32
	10,3		20,3				
	10,2		20,3				
						PROM=	2,36



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,1	10,1	20,3	20,23	1631,78	3805	2,33
	10,2		20,2				
	10,1		20,2				
10	10,3	10,3	20,1	20,17	1669,49	3884	2,33
	10,3		20,2				
	10,2		20,2				
1	10,2	10,2	20,2	20,23	1642,53	4033	2,46
	10,2		20,2				
	10,1		20,3				
						PROM=	2,37

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,3	10,3	20,0	20,03	1658,45	3957	2,39
	10,2		20,0				
	10,3		20,1				
4	10,3	10,3	20,1	20,10	1674,79	3937	2,35
	10,3		20,2				
	10,3		20,0				
5	10,4	10,3	20,1	20,13	1688,44	3966	2,35
	10,3		20,1				
	10,3		20,2				
6	10,3	10,3	20,1	20,07	1682,85	4014	2,39
	10,3		20,1				
	10,4		20,0				
						PROM=	2,37



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
21 DE JUNIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	Kg	Kg/cm²	MPa	%
7	10,2	10,2	0,37	32685,5	400,00	39,23	56,12
	10,1						
	10,3						
8	10,2	10,2		34118	420,28	41,22	58,96
	10,1						
	10,2						
9	10,2	10,2		32193,7	391,42	38,39	54,91
	10,3						
	10,2						
				PROM=	403,90	39,61	56,67

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
25 DE JUNIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	Kg	Kg/cm²
3	10,1	10,1	0,37	39422,5	488,82	47,94	68,58
	10,2						
	10,1						
10	10,3	10,3		42222,4	510,03	50,02	71,55
	10,3						
	10,2						
1	10,2	10,2		39456	486,03	47,66	68,19
	10,2						
	10,1						
				PROM=	494,96	48,54	69,44



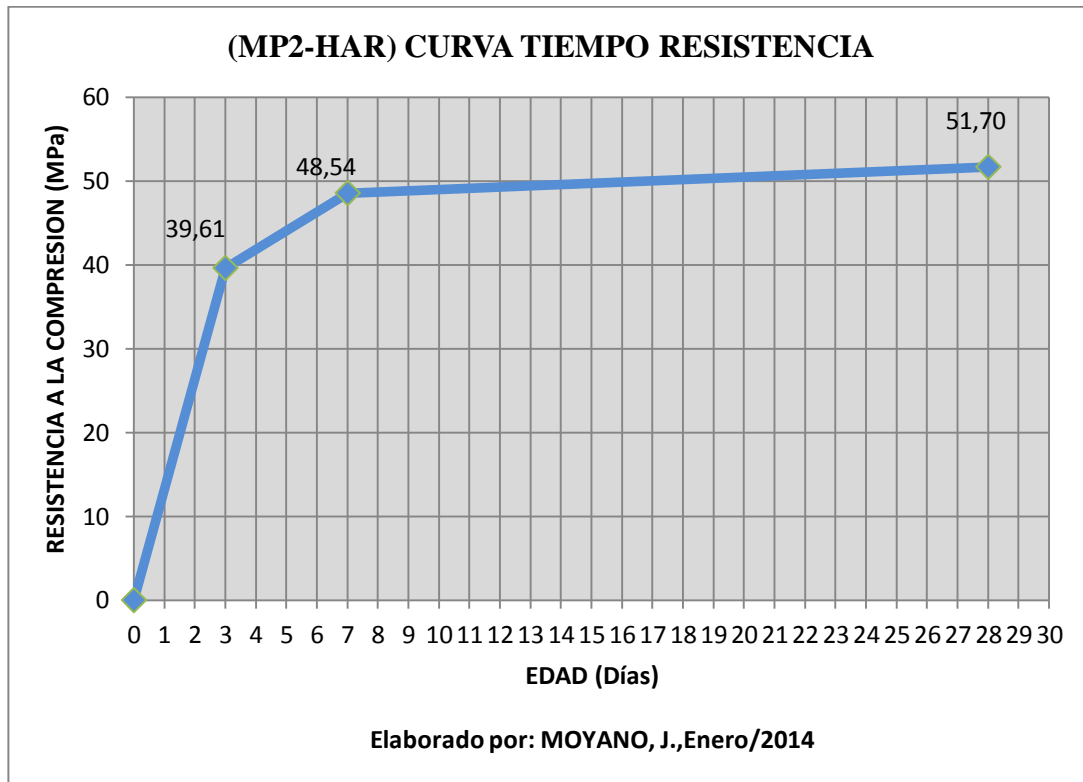
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
16 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	Kg	Kg/cm²
2	10,3	10,3	0,37	42835,4	517,43	50,74	72,59
	10,2						
	10,3						
4	10,3	10,3		45199,5	542,46	53,20	76,10
	10,3						
	10,3						
5	10,4	10,3		43965,7	524,26	51,41	73,55
	10,3						
	10,3						
6	10,3	10,3		44000,2	524,67	51,45	73,61
	10,3						
	10,4						
				PROM=	527,20	51,70	73,96

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
Días	Kg/cm²	MPa	% Conseguido
0	0	0,00	0,00
3	403,90	39,61	56,67
7	494,96	48,54	69,44
28	527,20	51,70	73,96



Gráfico 2 Curva tiempo resistencia MP2-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.3 MP3-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 28 DE JUNIO DEL
2013
MEZCLA: MP3-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 1/2 pulg, de granulometría y 1% de aditivo SIKAMENT N100

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 9 cilindros:

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,12 lt	0,36
CEMENTO	8,61 kg	1,00
ARENA	9,18 kg	1,07
RIPIO	15,09 kg	1,75

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (cm ³)
ADITIVO	Sikament-N100	1	1,22	0,086	0,071
MICROSILICE	-	-	-	-	-

La cantidad de aditivo añadida, se reemplazada por la igual cantidad de agua, para no alterar la relación agua/(material cementante), de igual forma se procede con respecto al % de microsilíce que se sustituye por la igual cantidad de cemento.

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	3,0 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,3	10,2	20,0	20,00	1644,96	3973	2,42
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
2	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3916	2,38
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
3	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3950	2,40
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,40

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
4	10,2	10,2	20,2	20,07	1639,70	3942	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,3	10,2	20,0	20,03	1647,70	3836	2,33
	10,2		20,0				
	10,2		20,1				
6	10,1	10,2	20,0	20,07	1650,44	3948	2,39
	10,3		20,1				
	10,3		20,1				
						PROM=	2,37



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
7	10,1	10,1	20,0	20,00	1612,96	3836	2,38
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,1	10,1	20,1	20,03	1615,65	3903	2,42
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3893	2,40
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,40

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
1 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	w / (c+p)	Kg	Kg/cm²	MPa	%
1	10,3	10,2	0,36	40144,6	488,09	47,87	68,48
	10,2						
	10,2						
2	10,2	10,2		38809,7	471,86	46,27	66,20
	10,3						
	10,2						
3	10,2	10,2		40043,1	486,86	47,74	68,30
	10,3						
	10,2						
				PROM=	482,27	47,29	67,66



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
5 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			w / (c+p)	Kg	Kg/cm ²
4	10,2	10,2	0,36	44479,2	544,34	53,38	76,37
	10,2						
	10,2						
5	10,3	10,2		41076,7	499,43	48,98	70,07
	10,2						
	10,2						
6	10,1	10,2		40232	489,16	47,97	68,63
	10,3						
	10,3						
				PROM=	510,97	50,11	71,69

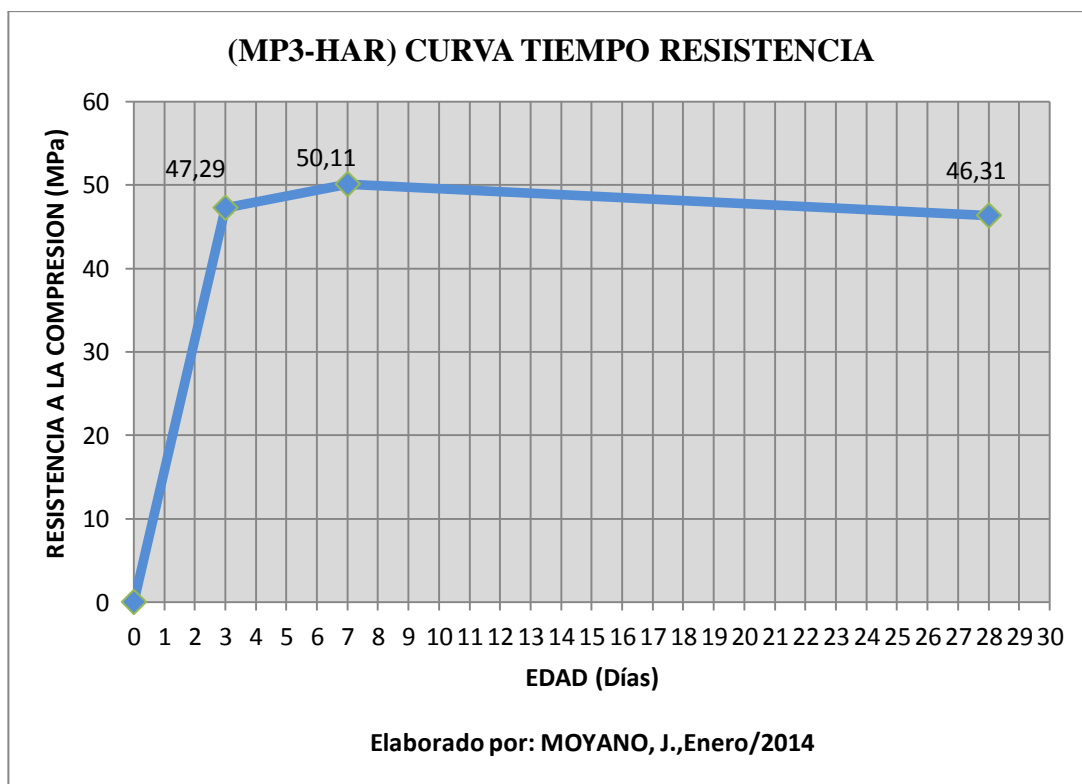
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
25 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			w / (c+p)	Kg	Kg/cm²
7	10,1	10,1	0,36	32982,2	408,96	40,11	57,38
	10,1						
	10,2						
8	10,1	10,1		43716,7	542,07	53,16	76,05
	10,2						
	10,1						
9	10,2	10,2		37794,9	465,57	45,66	65,32
	10,2						
	10,1						
				PROM=	472,20	46,31	66,25



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
	Días	Kg/cm ²	MPa
	0	0	0,00
	3	482,27	47,29
	7	510,97	50,11
	28	472,20	46,31

Gráfico 3 Curva tiempo resistencia MP3-HAR



Del gráfico se deduce que el ensayo a los 28 días de edad existió algún error en la medición que no permitió encontrar adecuadamente este valor, por lo que se descarta.

Los valores a los 3 y 7 días ya nos dan una idea clara de la resistencia de la mezcla diseñada con la relación $w/(c+p)$, de la tabla 4.3.5 (b), para aditivo HRWR, y se ve que esta mezcla presenta una resistencia menor, comparada con su similar pero diseñada con la relación $w/(c+p)$ de la tabla 4.3.5 (a) MEZCLA MP2-HAR, que considera la relación agua –material cementante como que no se utilizara aditivo, por ello de aquí en adelante se utilizará solo esta tabla para diseñar las mezclas.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.4 MP4-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 16 DE JULIO DEL 2013
MEZCLA: MP4-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material: Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría y 1,5% de aditivo SIKAMENT N100

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 9 cilindros:

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,28 lt	0,37
CEMENTO	8,86 kg	1,00
ARENA	9,27 kg	1,05
RIPIO	14,59 kg	1,65

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (cm ³)
ADITIVO	Sikament N100	1,5%	1,22	0,133	0,109
MICROSILICE	-	-	-	-	-

La cantidad de aditivo añadida, se reemplazada por la igual cantidad de agua, para no alterar la relación agua/(material cementante), de igual forma se procede con respecto al % de microsílce que se sustituye por la igual cantidad de cemento.

$$\text{AGUA} = 3,28 - 0,109 = 3,17 \text{ lt}$$

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	2,5 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,2	10,2	20,0	19,90	1626,09	3883	2,39
	10,2		19,8				
	10,2		19,9				
4	10,2	10,2	19,8	19,87	1623,36	3908	2,41
	10,2		19,9				
	10,2		19,9				
5	10,3	10,2	20,0	19,97	1642,21	3897	2,37
	10,2		19,9				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,39

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON NDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,2	10,1	20,0	20,00	1612,96	3882	2,41
	10,1		20,0				
	10,1		20,0				
7	10,2	10,1	20,0	20,00	1602,37	3875	2,42
	10,0		20,0				
	10,1		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3900	2,40
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,41



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,3	10,2	20,0	20,00	1644,96	3912	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3959	2,42
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,1	20,0	20,00	1602,37	3939	2,46
	10,1		20,0				
	10,0		20,0				
						PROM=	2,42

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
19 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
2	10,2	10,2	0,37	35039,2	428,81	42,05	60,16
	10,2						
	10,2						
4 sumergido	10,2	10,2		39684,0	485,65	47,63	68,13
	10,2						
	10,2						
5	10,3	10,2		34631,6	421,06	41,29	59,07
	10,2						
	10,2						
				PROM=	445,18	43,66	62,46



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
23 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
1	10,2	10,1	0,37	52454,5	650,41	63,78	91,25
	10,1						
	10,1						
7	10,2	10,1		41666,8	520,06	51,00	72,96
	10,0						
	10,1						
9	10,2	10,2		44544,3	548,71	53,81	76,98
	10,2						
	10,1						
				PROM=	573,06	56,20	80,40

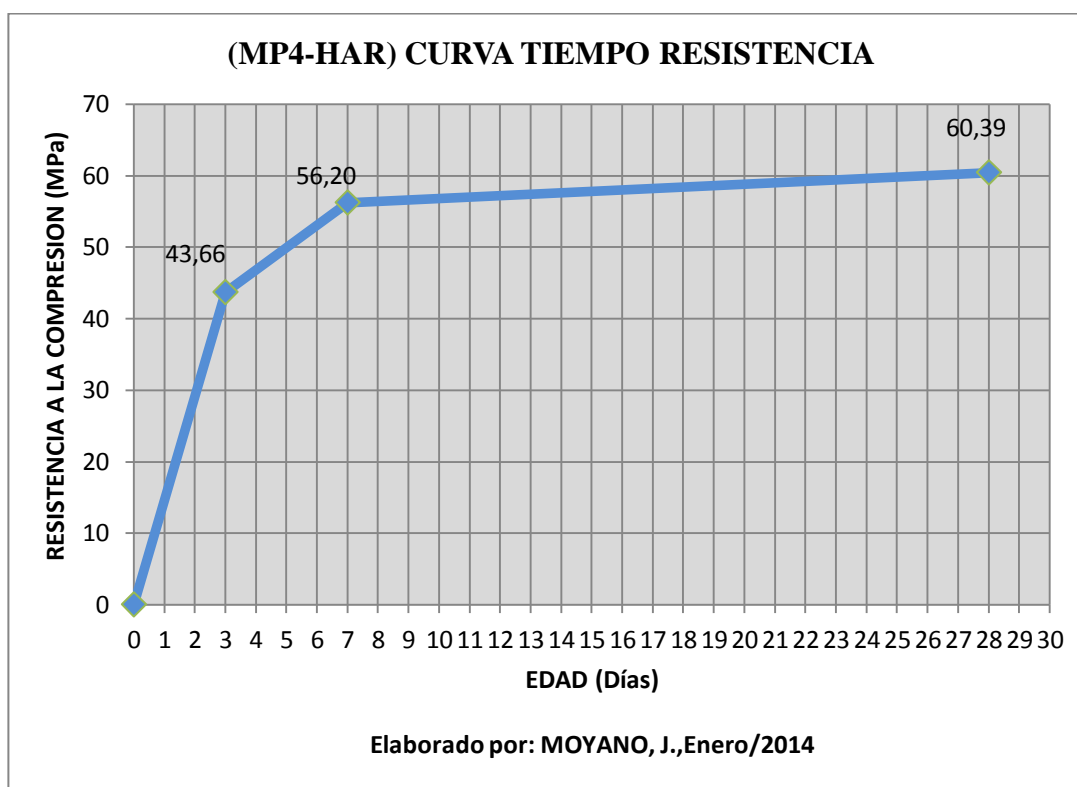
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
13 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
3	10,3	10,2	0,37	50521,7	614,26	60,24	86,18
	10,2						
	10,2						
6	10,2	10,2		50563,8	618,80	60,68	86,81
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,1		49222,7	614,37	60,25	86,19
	10,1						
	10,0						
PROM=				615,81	60,39	86,40	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
	Días	Kg/cm ²	MPa
	0	0	0,00
	3	445,18	43,66
	7	573,06	56,20
	28	615,81	60,39

Gráfico 4 Curva tiempo resistencia MP4-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.5 MP5-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
 UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL DE LAFARGE
FECHA : 16 DE JULIO DEL 2013
MEZCLA: MP5-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 9 cilindros :

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,83 lt	0,33
CEMENTO	11,57 kg	1,00
ARENA	6,55 kg	0,57
RIPIO	14,55 kg	1,26

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (cm ³)
ADITIVO	-	-	-	-	-
MICROSILICE	-	-	-	-	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	2,5 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,3	10,2	19,9	19,87	1633,99	3845	2,35
	10,2		19,8				
	10,2		19,9				
3 sumergido	10,3	10,3	20,0	20,00	1655,69	3886	2,35
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,2	10,2	19,7	19,77	1615,19	3838	2,38
	10,2		19,8				
	10,2		19,8				
						PROM=	2,36

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,1	10,2	20,0	20,00	1623,59	3847	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,3	10,2	20,0	20,00	1644,96	3890	2,36
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,2	10,1	20,0	20,00	1602,37	3813	2,38
	10,0		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,37



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3873	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3873	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,1	10,1	20,0	20,00	1612,96	3870	2,40
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,38

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
19 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
2	10,3	10,2	0,33	35089,7	426,63	41,84	59,85
	10,2						
	10,2						
3 sumergido	10,3	10,3		36042,3	435,38	42,70	61,08
	10,3						
	10,2						
5	10,2	10,2		34929,9	427,47	41,92	59,97
	10,2						
	10,2						
				PROM=	429,83	42,15	60,30



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

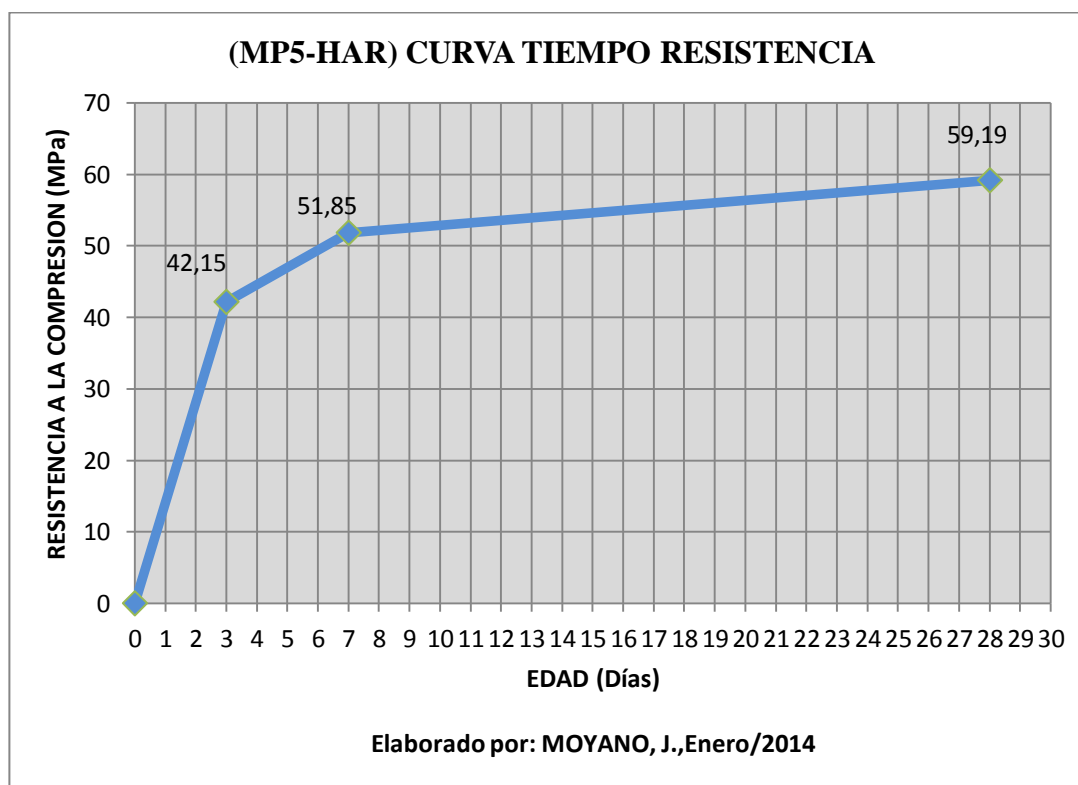
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
23 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	w / (c+p)	kg	Kg/cm²	MPa	%
1	10,1	10,2	0,33	43318,2	533,61	52,33	74,86
	10,2						
	10,2						
4	10,3	10,2		42502,1	516,76	50,68	72,50
	10,2						
	10,2						
6	10,2	10,1		42939	535,94	52,56	75,19
	10,0						
	10,1						
				PROM=	528,77	51,85	74,18

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
13 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	kg	Kg/cm²	MPa	%
7	10,2	10,2	0,33	49356,8	604,03	59,23	84,74
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,2		49027,3	600,00	58,84	84,18
	10,2						
	10,2						
9	10,1	10,1		48916,2	606,54	59,48	85,09
	10,1						
	10,2						
				PROM=	603,52	59,19	84,67



EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
Días	Kg/cm ²	MPa	% con respecto a f'_{cr}
0	0	0,00	0,00
3	429,83	42,15	60,30
7	528,77	51,85	74,18
28	603,52	59,19	84,67

Gráfico 5 Curva tiempo resistencia MP5-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.6 MP6-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 20 DE AGOSTO DEL 2013
MEZCLA: MP6-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de

Material : granulometría y 1,5% de aditivo Sikament N100 y 15% de Microsílice Sikafume.

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICIO N	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Sikament N100	1,5%	1,22	0,207	0,17
MICROSILICE	Sika fume	15%	-	2,07	-

Agua= 3,58-0,17 = 3.41 lt

Cemento= 13.77 - 2.07 =11.70 kg

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	2 cm
Consistencia :	Seca
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3840	2,37
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
3 sumergido	10,2	10,2	19,9	19,93	1618,18	3840	2,37
	10,2		19,9				
	10,1		20,0				
10	10,1	10,1	19,9	19,90	1594,36	3800	2,38
	10,1		19,9				
	10,1		19,9				
						PROM=	2,37

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,4	10,4	20,0	20,00	1709,88	4064	2,38
	10,5		20,0				
	10,4		20,0				
7	10,4	10,4	20,0	20,00	1688,10	3972	2,35
	10,4		20,0				
	10,3		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3862	2,36
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,36



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3847	2,37
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3860	2,36
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3779	2,31
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,35

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
19 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
2	10,2	10,2	0,29	44210,9	Kg/cm ²	MPa	%
	10,2						
	10,1						
3 Sumergido	10,2	10,2		44712,9	550,79	54,01	77,27
	10,2						
	10,1						
10	10,1	10,1		44624,8	556,99	54,62	78,14
	10,1						
	10,1						
				PROM=	550,79	54,01	77,27



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

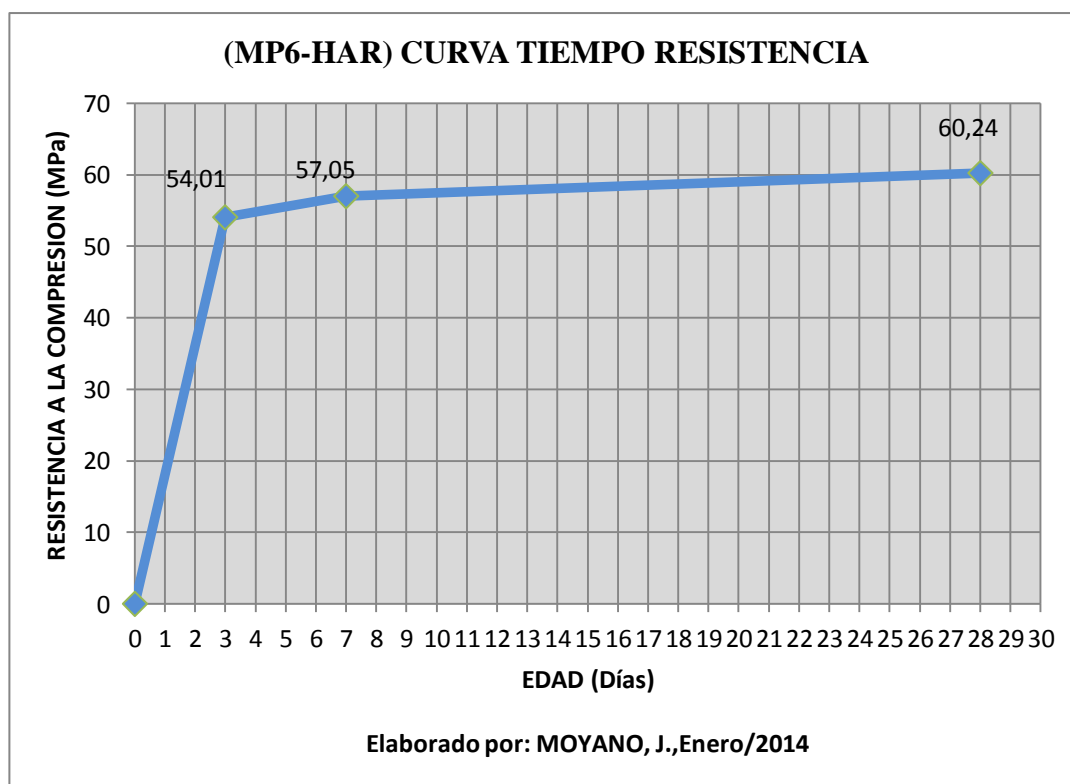
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
23 DE JULIO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	kg	Kg/cm²	MPa	%
1	10,4	10,4	0,29	44165,0	516,59	50,66	72,47
	10,5						
	10,4						
7	10,4	10,4		47310,8	560,52	54,97	78,64
	10,4						
	10,3						
9	10,2	10,2		54602,2	668,22	65,53	93,75
	10,2						
	10,2						
				PROM=	581,78	57,05	81,62

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
13 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
5	10,2	10,2	0,29	50004,4	615,97	60,41	86,42
	10,2						
	10,1						
6	10,2	10,2		50081,0	612,89	60,10	85,98
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,2		50169,2	613,97	60,21	86,14
	10,2						
	10,2						
				PROM=	614,28	60,24	86,18



EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
	Días	Kg/cm ²	MPa
			% Conseguido
	0	0	0,00
	3	550,79	54,01
	7	581,78	57,05
	28	614,28	60,24

Gráfico 6 Curva tiempo resistencia MP6-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.7 MP7-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 20 DE AGOSTO DEL 2013
MEZCLA: MP7-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría y 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS.

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	-	-	-	-	-

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	15 cm
Consistencia :	Fluida
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON NDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,1	10,2	20,0	20,00	1623,59	3980	2,45
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
2	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4118	2,52
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4165	2,55
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,51

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	4103	2,53
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4066	2,49
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3974	2,43
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,48



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
6	10,3	10,2	20,0	20,00	1644,96	4107	2,50
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,5	10,5	20,0	20,00	1720,82	4140	2,41
	10,5		20,0				
	10,4		20,0				
9	10,3	10,3	20,0	20,00	1655,69	4210	2,54
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,48

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
23 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	Kg	Kg/cm2
1	10,1	10,2	0,26	47794,9	588,75	57,74	82,60
	10,2						
	10,2						
2	10,2	10,2		48726,7	596,32	58,48	83,66
	10,2						
	10,2						
4	10,2	10,2		49157,6	601,59	59,00	84,40
	10,2						
	10,2						
					PROM=	595,55	58,40



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
27 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
3	10,2	10,2	0,26	53743,4	662,03	64,92	92,88
	10,1						
	10,2						
5	10,2	10,2		51812,1	634,08	62,18	88,96
	10,2						
	10,2						
7	10,2	10,2		52965,3	648,19	63,57	90,94
	10,2						
	10,2						
				PROM=	648,10	63,56	90,93

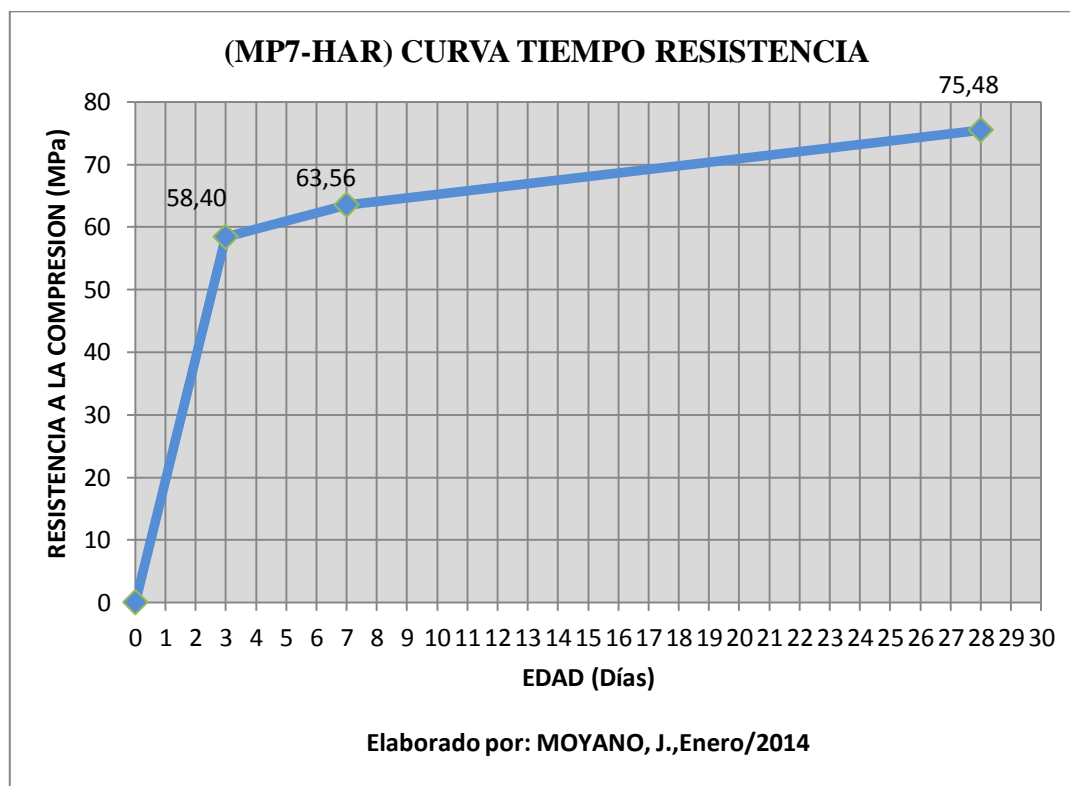
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
17 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	Kg	Kg/cm ²
6	10,3	10,2	0,26	63478,3	771,79	75,69	108,28
	10,2						
	10,2						
8	10,5	10,5		66684,5	775,03	76,00	108,73
	10,5						
	10,4						
9	10,3	10,3		63100,3	762,22	74,75	106,94
	10,3						
	10,2						
				PROM=	769,68	75,48	107,98



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
	Días	Kg/cm ²	MPa
			% Conseguido
	0	0	0,00
	3	595,55	58,40
	7	648,10	63,56
	28	769,68	75,48

Gráfico 7 Curva tiempo resistencia MP7-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.8 MP8-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 20 DE AGOSTO DEL 2013
MEZCLA: MP8-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría y 3% de aditivo Sikament N100.

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Sikament N 100	3,0%	1,22	0,413	0,339
MICROSILICE	-	-	-	-	-

Agua= 3,58-0,339= 3.24 lt

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	2,5 cm
Consistencia :	Plástica
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4030	2,47
	10,1		20,0				
	10,3		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4054	2,48
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3885	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,44

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4000	2,45
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
3	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3868	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4028	2,46
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,43



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA Nº	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,3	10,3	20,0	20,00	1666,46	4034	2,42
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	4034	2,45
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	4035	2,45
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,44

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
23 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		W/(C+P)	kg	Kg/cm²	MPa
5	10,2	10,2	0,26	49637,2	607,46	59,57	85,22
	10,1						
	10,3						
6	10,2	10,2		51158,1	626,07	61,40	87,84
	10,2						
	10,2						
7	10,2	10,2		49395,2	604,50	59,28	84,81
	10,2						
	10,2						
				PROM=	612,68	60,08	85,96



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

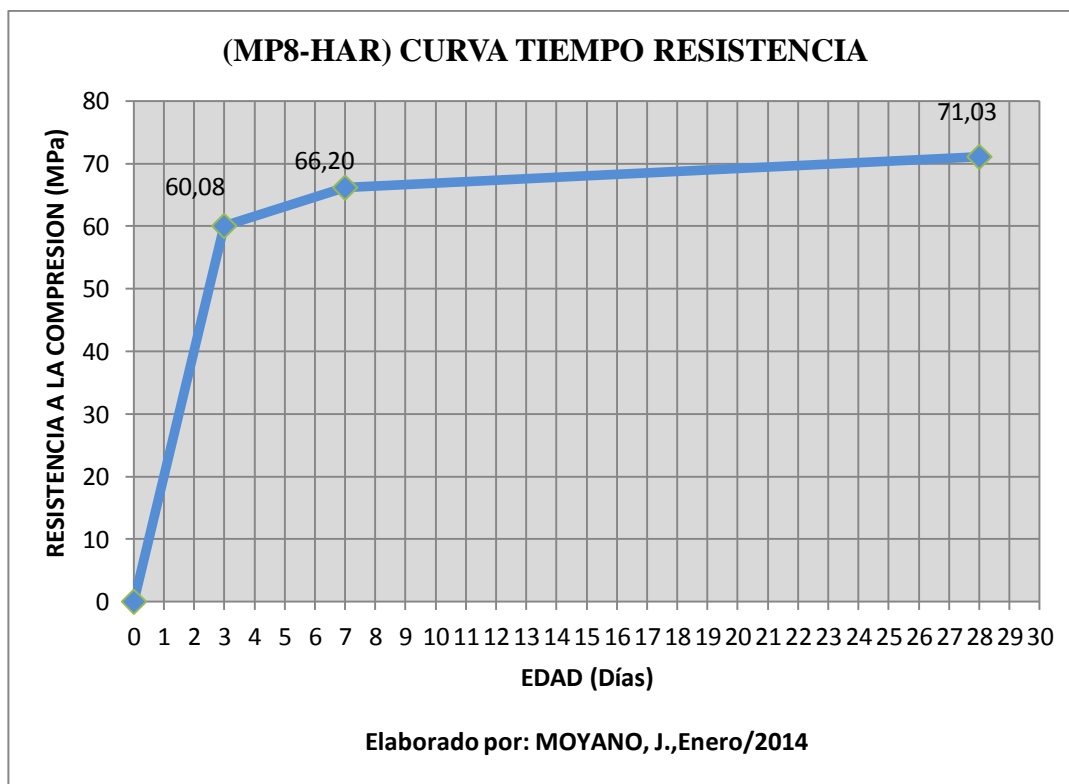
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
27 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	kg	Kg/cm ²	MPa	%
2	10,2	10,2	0,26	55418,7	678,21	66,51	95,15
	10,2						
	10,2						
3	10,2	10,2		55240,7	676,03	66,30	94,84
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,2		54824	670,94	65,80	94,13
	10,2						
	10,2						
				PROM=	675,06	66,20	94,71

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
17 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	kg	Kg/cm²	MPa	%
1	10,3	10,3	0,26	60344,9	724,23	71,02	101,61
	10,3						
	10,3						
4	10,2	10,2		59285,8	720,82	70,69	101,13
	10,3						
	10,2						
9	10,2	10,2		59857,3	727,77	71,37	102,10
	10,2						
	10,3						
				PROM=	724,27	71,03	101,61



EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
	Días	Kg/cm ²	MPa
			% Conseguido
0	0	0,00	0,00
3	612,68	60,08	85,96
7	675,06	66,20	94,71
28	724,27	71,03	101,61

Gráfico 8 Curva tiempo resistencia MP8-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.9 MP9-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO

FECHA : 6 DE SEPTIEMBRE DEL 2013

MEZCLA: MP9-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 5% de microsílíce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION N	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUM EN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	5,0%	-	0,69	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-0,69= 13,08 kg

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	15 cm
Consistencia :	Fluida
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3945	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3945	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,4	10,4	20,0	20,00	1709,88	4179	2,44
	10,5		20,0				
	10,4		20,0				
						PROM=	2,42

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3935	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3942	2,40
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3920	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,40



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,3	10,3	20,0	20,00	1666,46	3961	2,38
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
6	10,3	10,3	20,0	20,00	1677,26	4181	2,49
	10,4		20,0				
	10,3		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3982	2,44
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,44

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
9 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
3	10,2	10,2	0,26	48402,5	592,35	58,09	83,10
	10,2						
	10,2						
4	10,2	10,2		48617,3	594,98	58,35	83,47
	10,2						
	10,2						
7	10,4	10,4		51545,1	602,91	59,13	84,59
	10,5						
	10,4						
				PROM=	596,75	58,52	83,72



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
13 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm ²
1	10,1	10,1	0,26	49410,5	612,67	60,08	85,95
	10,1						
	10,2						
5	10,1	10,1		49502,2	613,80	60,19	86,11
	10,2						
	10,1						
8	10,1	10,2		49816,4	613,66	60,18	86,09
	10,2						
	10,2						
PROM=				613,38	60,15	86,05	

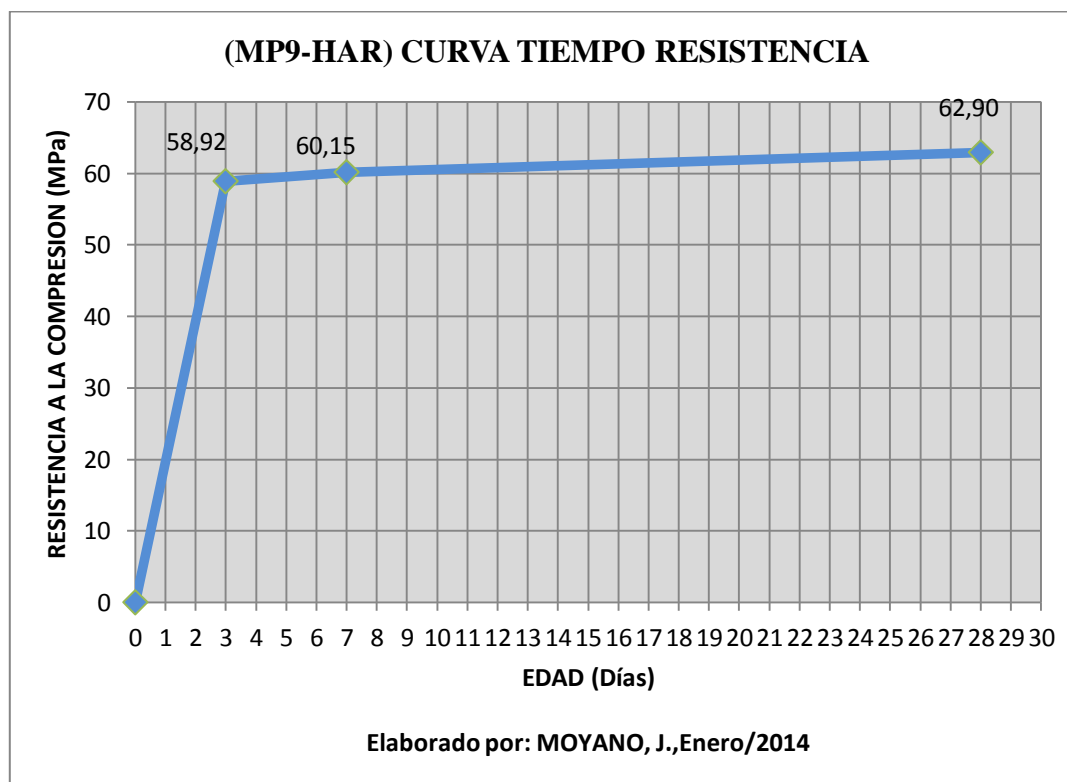
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
4 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
2	10,3	10,3	0,26	56746	681,04	66,79	95,55
	10,3						
	10,3						
6	10,3	10,3		49468	589,87	57,85	82,76
	10,4						
	10,3						
9	10,2	10,2		53375,5	653,21	64,06	91,64
	10,2						
	10,2						
PROM=				641,37	62,90	89,98	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
Días	Kg/cm ²	MPa	% Conseguido
0	0	0,00	0,00
3	596,74	58,52	83,72
7	613,38	60,15	86,05
28	641,37	62,90	89,98

Gráfico 9 Curva tiempo resistencia MP9-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.10 MP10-HAR (MEZCLA PATRÓN)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO

FECHA : 16 DE SEPTIEMBRE DEL 2013

MEZCLA: MP10-HAR

Mina de Origen : Sector Guayllabamba

Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 8% de microsílíce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION N	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cemento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUM EN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	8,0%	-	1,10	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-1.10= 12,67 kg

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	15 cm
Consistencia :	Fluida
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM		HORMIGON ENDURECID O	
	cm	cm	cm	cm		g	
1	10,3	10,3	20,0	20,00	1655,69	3945	g/cm³
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
2	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3945	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3941	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,40

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
3	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3871	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,4	10,4	20,0	20,00	1698,97	4035	2,37
	10,4		20,0				
	10,4		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3840	2,37
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,37



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1623,59	3894	2,40
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,4	10,4	20,0	20,00	1709,88	4051	2,37
	10,4		20,0				
	10,5		20,0				
9	10,3	10,3	20,0	20,00	1677,26	3915	2,33
	10,3		20,0				
	10,4		20,0				
						PROM=	2,37

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
9 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm	W/(C+P)	kg	Kg/cm²	MPa	%
1	10,3	10,3	0,26	50012,1	5604,12	59,79	84,76
	10,2						
	10,3						
2	10,2	10,2		50820,5	617,90	60,59	86,69
	10,2						
	10,2						
4	10,2	10,2		50938,5	623,38	61,13	87,46
	10,2						
	10,2						
				PROM=	615,13	60,32	86,60



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
13 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		W/(C+P)	kg	Kg/cm ²	MPa
3	10,2	10,2	0,26	56533,2	691,85	67,85	97,06
	10,2						
	10,2						
6	10,4	10,4		60967,9	717,70	70,38	100,69
	10,4						
	10,4						
8	10,2	10,2		57299,4	705,83	69,22	99,03
	10,2						
	10,1						
				PROM=	705,13	69,15	98,93

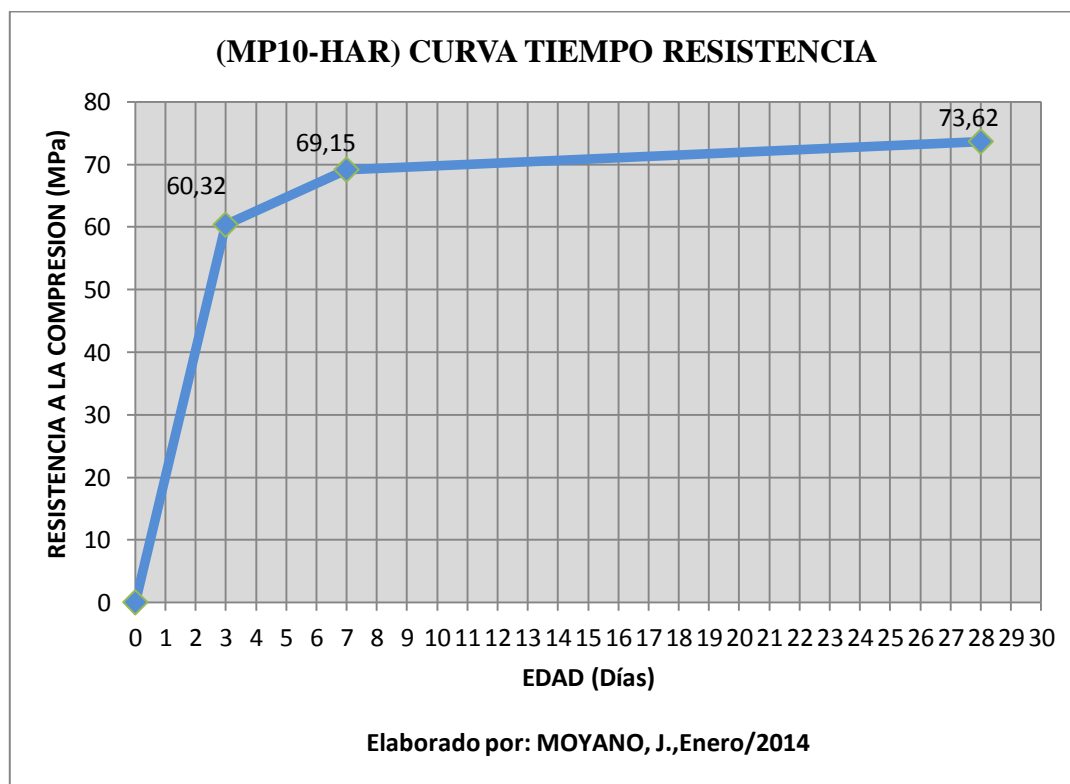
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
4 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
5	10,2	10,2	0,26	54629,2	672,94	65,99	94,41
	10,1						
	10,2						
7	10,4	10,4		67319,8	787,42	77,22	110,47
	10,4						
	10,5						
9	10,3	10,3		66406,1	791,84	77,65	111,09
	10,3						
	10,4						
				PROM=	750,73	73,62	105,32



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
Días	Kg/cm ²	MPa	% Conseguido
0	0	0,00	0,00
3	615,13	60,32	86,30
7	705,13	69,15	98,93
28	750,73	73,62	105,32

Gráfico 10 Curva tiempo resistencia MP10-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.11 MP11-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA : NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM-C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 27 DE AGOSTO DEL 2013
MEZCLA: MP11-HAR
Mina de Origen : Sector Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial

Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 1,5% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 10% de microsílce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : PLANETARIA

Dosificación para 10 cilindros

MATERIAL	PESO (kg)	DOSIFICACION
AGUA	3,58 lt	0,26
CEMENTO	13,77 kg	1,00
ARENA	7,03 kg	0,51
RIPIO	15,62 kg	1,13

Aditivos y Adiciones:

ADITIVO/ADICION	NOMBRE/ MARCA	% con respecto al cimento	DENS. (g/cm ³)	PESO (kg)	VOLUMEN (lt)
ADITIVO	Glenium 3000 NS	1,5%	1,07	0,207	0,193
MICROSILICE	Rheomac SF 100	10,0%	-	1,38	-

Recalculando:

Agua= 3,58-0,193= 3.387 lt

Cemento= 13,77-1,38= 12,39 kg

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento Obtenido :	15 cm
Consistencia :	Fluida
Segregación:	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
7	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3905	2,39
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,00	1644,96	3906	2,37
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3890	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,38

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
1	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3935	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
3	10,1	10,2	20,0	20,00	1623,59	3942	2,43
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3920	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,41



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm	cm	cm	cm			
2	10,1	10,1	20,0	20,00	1612,96	3888	2,41
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	3910	2,39
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,2	10,2	20,0	20,00	1634,26	4062	2,49
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,43

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
30 DE AGOSTO DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm					
7	10,2	10,2	0,26	48322,3	591,37	57,99	82,97
	10,2						
	10,2						
8	10,2	10,2		47705,4	580,02	56,88	81,37
	10,3						
	10,2						
9	10,2	10,2		50667,3	620,07	60,81	86,99
	10,2						
	10,2						
					PROM=	597,15	58,56



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
3 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm²
1	10,2	10,2	0,26	56804	695,17	68,17	97,53
	10,2						
	10,2						
3	10,1	10,2		55445	682,99	66,98	95,82
	10,2						
	10,2						
6	10,2	10,2		54923,3	672,15	65,92	94,30
	10,2						
	10,2						
				PROM=	683,44	67,02	95,88

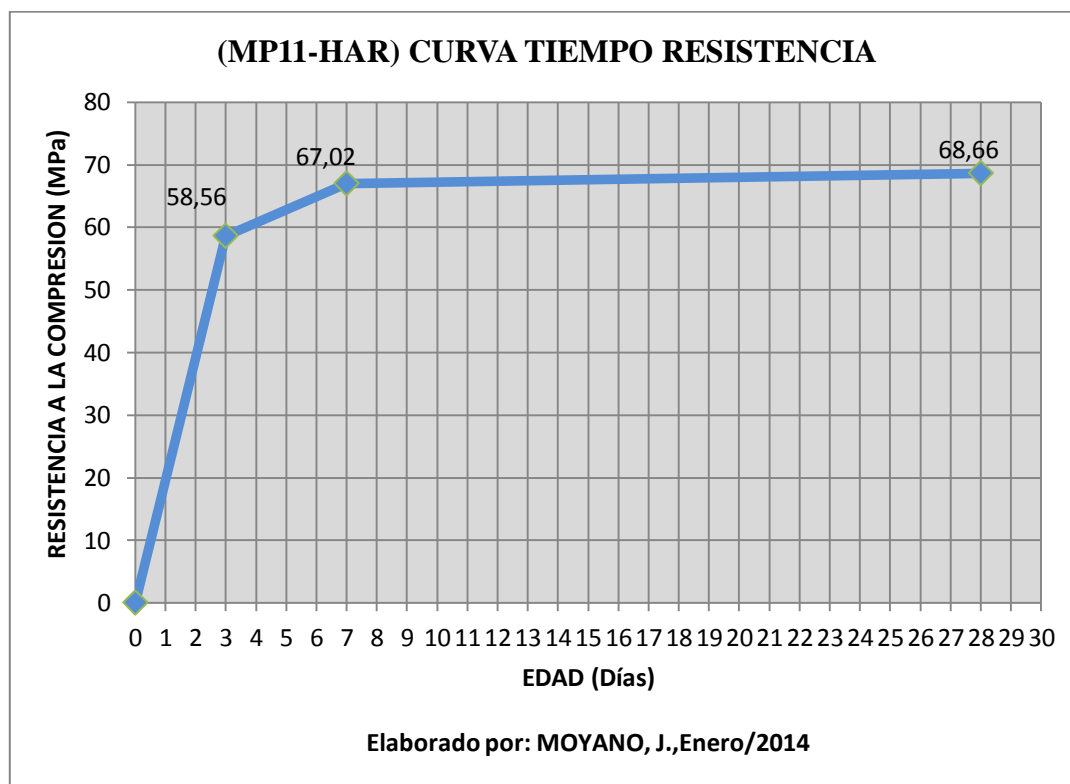
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
24 DE SEPTIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm			W/(C+P)	kg	Kg/cm ²
2	10,3	10,3	0,26	54085,2	653,33	64,07	91,66
	10,3						
	10,2						
4	10,3	10,3		55340	668,48	65,56	93,79
	10,3						
	10,2						
5	10,3	10,3		64456,3	778,60	76,35	109,23
	10,3						
	10,2						
				PROM=	700,14	68,66	98,23



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
	Días	Kg/cm ²	MPa
			% Conseguido
	0	0	0,00
	3	597,15	58,56
	7	683,44	67,02
	28	700,14	68,66

Gráfico 11 Curva tiempo resistencia MP11-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.12 MP10-A1-HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA: NTE INEN 1573: 2010-1R (ASTM- C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 14 DE OCTUBRE DEL 2013
MEZCLA: MP10-A1-HAR

Mina de Origen : Cantera Río Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial
Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 3.0% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 8% de microsílíce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : CONCRETERA

Dosificación para 10 cilindros : considerando adiciones y aditivos

Material	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,17	0,26
CEMENTO	12,67	1
ARENA	7,03	0,51
RIPIO	15,62	1,13
	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENIUM 3000 NS 3,0%	0,41	0,39
MICROSILICE RHEOMAC SF 100 8%	1,10	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento	3cm
Consistencia	Plástica
Segregación	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGO N
	DIAMETR O	DIAMETR O PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
4	10,3	10,2	20,0	20,0	1644,96	3864	2,35
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,3	10,3	20,0	20,0	1677,26	4019	2,40
	10,3		20,0				
	10,4		20,0				
8	10,3	10,3	20,0	20,0	1666,46	3882	2,33
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,36

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGON N
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
2	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3885	2,35
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
3	10,2	10,2	20,0	20,0	1644,96	3870	2,35
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3901	2,36
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,35



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGON N
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
6	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3885	2,38
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
7	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3840	2,35
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
1	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3867	2,37
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,36

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
17 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%
4	10,3	10,2	0,26	43272,2	526,12	51,59	73,81
	10,2						
	10,2						
5	10,3	10,3		44678,4	532,75	52,25	74,74
	10,3						
	10,4						
8	10,3	10,3		48728,5	584,82	57,35	82,05
	10,3						
	10,3						
				PROM=	547.90	53.73	76.87



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

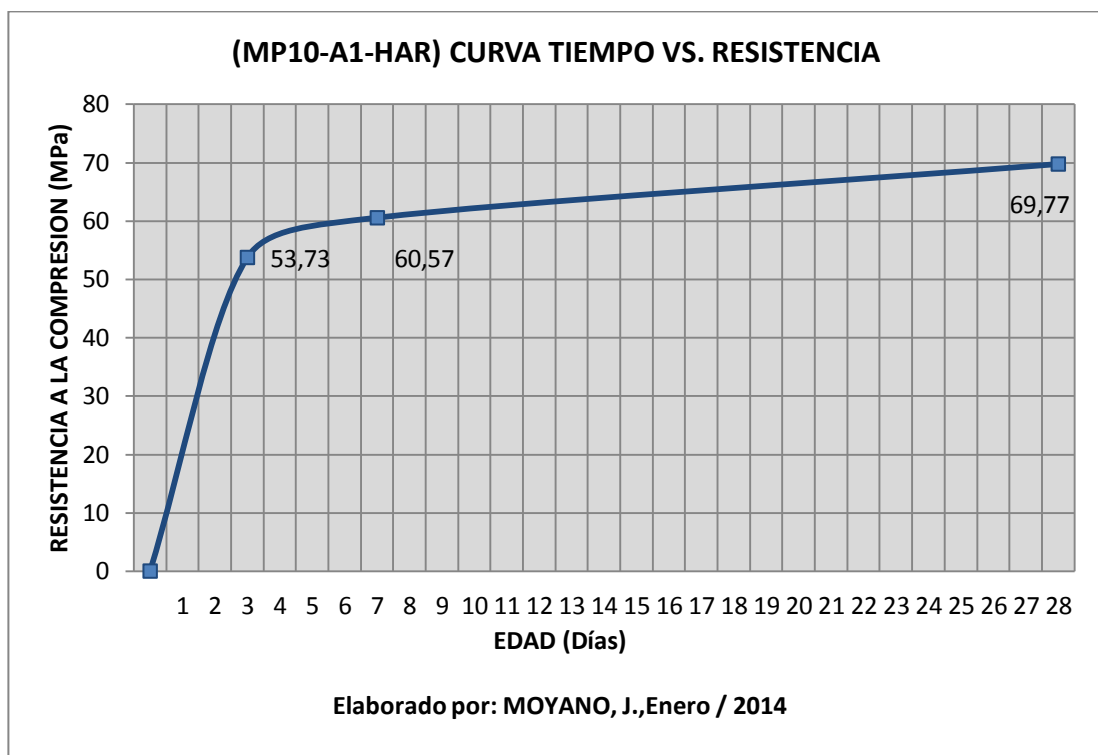
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS								
21 DE OCTUBRE DEL 2013								
1	2	3	4	5	6	7	8	
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA			
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM						
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%	
2	10,3	10,3	0,26	49824,3	601,86	59,02	84,44	
	10,3							
	10,2							
3	10,2	10,2		51309	623,83	61,18	87,52	
	10,3							
	10,2							
9	10,3	10,3		51932	627,32	61,52	88,01	
	10,3							
	10,2							
				PROM=	617,67	60,57	86,66	
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS								
11 DE OCTUBRE DEL 2013								
1	2	3	4	5	6	7	8	
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA			
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM						
	cm	cm		g	Kg/cm2	MPa	%	
6	10,2	10,2	0,26	58688,6	718,23	70,43	100,76	
	10,2							
	10,2							
7	10,2	10,2		58262,3	713,01	69,92	100,03	
	10,2							
	10,2							
1	10,2	10,2		57456,6	703,15	68,96	98,65	
	10,2							
	10,2							
				PROM=	711,47	69,77	99,82	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
	Días	Kg/cm2	Mpa
			% Esperado
	0	0	0,00
	3	547,90	53,73
	7	617,67	60,57
	28	711,47	69,77

Gráfico 12 Curva tiempo resistencia MP10-A1-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.13 MP10 -A2- HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA: NTE INEN 1573: 2010-1R (ASTM- C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 4 DE OCTUBRE DEL 2013
MEZCLA: MP10-A2-HAR

Mina de Origen : Cantera Río Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial
Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 3.0% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 8% de microsilíce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : CONCRETERA

Dosificación para 10 cilindros : considerando adiciones y aditivos

Material	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,23	0,27
CEMENTO	12,36	1,00
ARENA	7,12	0,53
RIPIO	15,82	1,18
	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENium 3000 NS 3,0%	0,40	0,38
MICROSILICE RHEOMAC SF 100 8%	1,07	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento	3,1cm
Consistencia	Plástica
Segregación	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6,00	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUM EN	PESO HORMIGO N ENDURECI DO	DENSIDA D HORMIG ON
	DIAMET RO	DIAMET RO PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
3	10,3	10,3	20,0	20,0	1666,46	3884	2,33
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
8	10,4	10,3	20,0	20,0	1677,26	3970	2,37
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
9	10,4	10,4	20,0	20,0	1688,10	4048	2,40
	10,4		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,37

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6,00	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGO N ENDUREC IDO	DENSIDA D HORMIG ON
	DIAMET RO	DIAMET RO PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
2	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3956	2,39
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3840	2,32
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3843	2,35
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,35



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6,00	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUM EN	PESO HORMIGO N ENDURECI DO	DENSIDA D HORMIG ON
	DIAMET RO	DIAMET RO PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
5	10,2	10,2	20,0	20,0	1623,59	3801	2,34
	10,2		20,0				
	10,1		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,0	1644,96	3900	2,37
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
7	10,3	10,3	20,0	20,0	1666,46	3895	2,34
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
PROM=							2,35

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
7 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3		5	6	7	8
PROBETA N°	DIAMETRO CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%
3	10,3	10,3	0,27	43728,2	524,80	51,47	73,63
	10,3						
	10,3						
8	10,4	10,3		43682,2	520,88	51,08	73,08
	10,3						
	10,3						
9	10,4	10,4		44954,3	532,60	52,23	74,72
	10,4						
	10,3						
				PROM=	526,09	51,59	73,81



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
10 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6,00	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACIO N w/(c+p)	CARG A DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETR O	DIAMETR O PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%
2	10,3	10,3	0,27	46184,3	557,89	54,71	78,27
	10,3						
	10,2						
4	10,3	10,3		45908,4	554,55	54,38	77,80
	10,3						
	10,2						
9	10,2	10,2		44161,2	540,44	53,00	75,82
	10,2						
	10,2						
				PROM	550,96	54,03	77,30

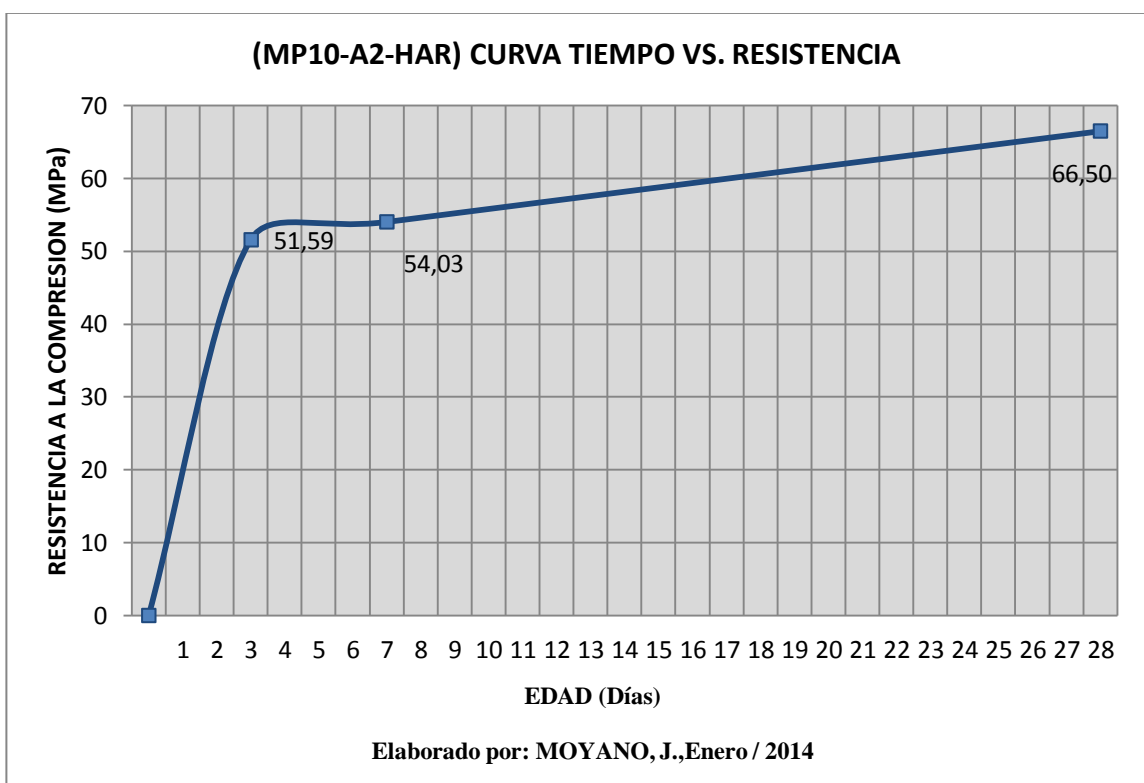
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
31 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6,00	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		g	Kg/cm2	MPa	%
5	10,2	10,2	0,27	53348,4	657,16	64,45	92,20
	10,2						
	10,1						
6	10,2	10,2		57059,4	693,75	68,03	97,33
	10,2						
	10,3						
7	10,3	10,3		56932,2	683,27	67,01	95,86
	10,3						
	10,3						
				PROM=	678,06	66,50	95,13



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'_{cr})		
Días	Kg/cm ²	Mpa	% Esperado
0	0	0,00	0,00
3	526,09	51,59	73,81
7	550,96	54,03	77,30
28	678,06	66,50	95,13

Gráfico 13 Curva tiempo resistencia MP10-A2-HAR





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

5.7.5.14 MP10 –A3- HAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA: NTE INEN 1573: 2010-1R (ASTM- C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 4 DE OCTUBRE DEL 2013
MEZCLA: MP10-A3-HAR

Mina de Origen : Cantera Río Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial
Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 3,0% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 8% de microsílce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : CONCRETERA

Dosificación para 10 cilindros : considerando adiciones y aditivos

Material	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,28	0,28
CEMENTO	12,06	1,00
ARENA	7,21	0,55
RIPIO	16,01	1,22
	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENIUM 3000 NS 3,0%	0,39	0,37
MICROSILICE RHEOMAC SF 100 8%	1,05	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento	3,3cm
Consistencia	Plástica
Segregación	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGO N
	DIAMETR O	DIAMETR O PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
5	10,2	10,2	20,0	20,0	1644,96	3891	2,37
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
7	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3809	2,30
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3901	2,39
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,35

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGO N
	DIAMETR O	DIAMETR O PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
1	10,3	10,2	20,0	20,0	1644,96	3858	2,35
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,4	10,4	20,0	20,0	1688,10	4000	2,37
	10,4		20,0				
	10,3		20,0				
6	10,3	10,3	20,0	20,0	1666,46	3964	2,38
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,36



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUME N	PESO HORMIGON ENDURECID O	DENSIDAD HORMIGON N
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
2	10,3	10,3	20,0	20,0	1666,46	3878	2,33
	10,3		20,0				
	10,3		20,0				
3	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3842	2,32
	10,3		20,0				
	10,2		20,0				
9	10,3	10,3	20,0	20,0	1677,26	3891	2,32
	10,4		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,32

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
4 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%
5	10,2	10,2	0,28	40459,8	491,93	48,24	69,01
	10,2						
	10,3						
7	10,3	10,3		38189,1	461,31	45,24	64,72
	10,3						
	10,2						
8	10,2	10,2		38142,2	466,78	45,78	65,49
	10,2						
	10,2						
				PROM=	473.34	46.42	66,41



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
8 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	%
1	10,3	10,2	0,28	46582,7	566,37	55,54	79,46
	10,2						
	10,2						
4	10,4	10,4		48920	579,59	56,84	81,31
	10,4						
	10,3						
6	10,3	10,3		48475,6	581,78	57,05	81,62
	10,3						
	10,3						
				PROM=	575,91	56,48	80,80

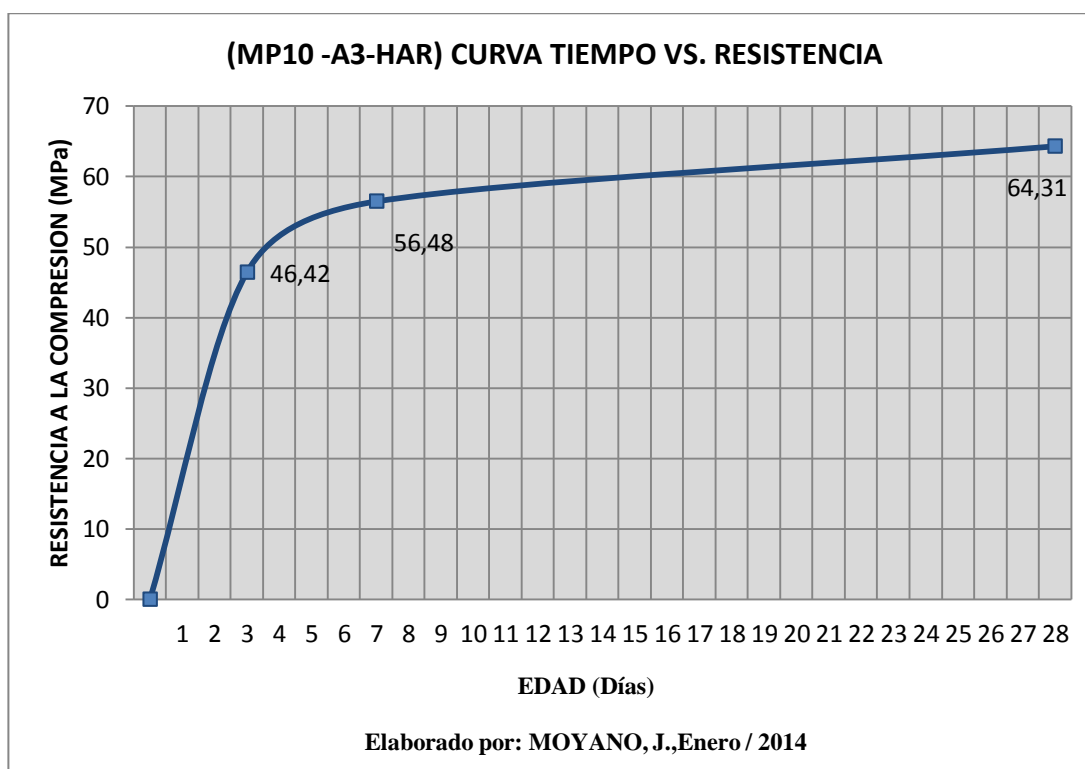
RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
29 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		g	Kg/cm2	MPa	%
2	10,3	10,3	0,28	54134,70	649,70	63,71	91,15
	10,3						
	10,3						
3	10,3	10,3		54212,20	654,86	64,22	91,87
	10,3						
	10,2						
9	10,3	10,3		55579,10	662,74	64,99	92,98
	10,4						
	10,3						
				PROM=	655,76	64,31	92,00



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)		
Días	Kg/cm2	Mpa	% Esperado
0	0	0,00	0,00
3	473,34	46,42	66,41
7	575,91	56,48	80,80
28	655,76	64,31	92,00

Gráfico 14 Curva tiempo resistencia MP10-A3-HAR



5.8. Análisis de resultados de los ensayos realizados

Lo primero que se analizó fue el método de dosificación del comité ACI 211.4R-93, con respecto a las tablas para determinar la relación agua-material cementante, puesto que según el procedimiento citado, para obtener una misma resistencia, con mezclas que se diseñan con aditivos HRWR (superfluidificantes, reductores de agua de alto rango), la relación agua-material cementante se puede aumentar con respecto a mezclas que se diseñan sin la inclusión de aditivo HRWR, es por ello que se decidió dosificar 2 mezclas, utilizando las tablas 4.3.5 (a) y (b).

Los resultados claramente denotaron que las resistencias a la compresión de las mezclas que se diseñaron sin aditivo HRWR, con la tabla 4.3.5 (a), fueron superiores a las alcanzadas por las mezclas que se diseñaron con aditivo HRWR, con la tabla 4.3.5 (b), por lo cual a partir de esta identificación, para el diseño las mezclas subsecuentes se utilizó solamente la tabla 4.3.5 (a), (ver **Gráfico 19** Evaluación de la Tabla de Diseño para determinar $w/(c+p)$, ACI.4R-93, en la Resistencia a la Compresión de las mezclas.

Después, se estudió el tamaño nominal máximo del agregado grueso más conveniente para nuestras mezclas, por lo que se dosificó para $TNM = 3/4$, $1/2$, y $3/8$ de pulg., 19.0, 12.75 y 9,5mm respectivamente, que luego de observar los resultados de los ensayos se identificó al $TNM = 3/8$ pulg (9,5 mm), como el que produce las mejores condiciones de resistencia y trabajabilidad, (ver **Gráfico 20** Evaluación del Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso en la Resistencia a la Compresión).

Luego, con una mezcla fabricada con agregado grueso de $TNM=3/8$ pulg, se analizó el aditivo y su porcentaje, para lo cual utilizamos dos aditivos de diferentes marcas comerciales en nuestras mezclas, estos son: el Sikament N100 y el Glenium 3000 NS, para seleccionar el que produce los mejores resultados, que en nuestras mezclas fue el aditivo superfluidificante y reductor de agua de alto rango Glenium 3000 NS, (ver

Posteriormente con una mezcla preparada con el TNM ideal del árido grueso=3/8 pulg, y con el aditivo en su debido porcentaje: Glenium 3000 NS al 1,5%, se estudió la influencia de la microsílíce para determinar su porcentaje adecuado en nuestras mezclas; para lo cual, se fabricó varias mezclas con porcentajes de 5, 8, y 10% con la microsílíce Rheomac SF 100 de la Empresa BASF, y una mezcla con la microsílíce Sikafume al 15% de la empresa SIKA, pero por la compatibilidad con los materiales y en especial con el aditivo, además de los resultados muy positivos, se optó por trabajar con la microsílíce de BASF al 8% (ver **Gráfico 22** Evaluación del Porcentaje de Microsílíce en la Resistencia a la Compresión).

Así se logró definir como mezcla patrón, la mezcla de prueba de hormigón de alta resistencia N°10, MP10-HAR, fabricada en la planetaria (ver **Gráfico 24** Proporciones Mezcla Patrón: MP10-HAR)

Con la mezcla patrón ya definida, se fabricaron 3 alternativas de dosificación MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3, variando un punto porcentual la relación agua-material cementante, y se obtuvieron los resultados indicados en la **Tabla 26**, que gráficamente se encuentran representados en **Gráfico 26** Curvas Tiempo Vs. Resistencia de las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR.

Finalmente con la mejor de estas tres últimas mezclas: la mezcla MP10-A1-HAR, se fabricó la mezcla definitiva MDEF-HAR, con la dosificación que haya cumplido todo este proceso de determinación y selección para conseguir nuestra resistencia promedio especificada.

Todos los análisis tabulares, gráficos comparativos y de resumen a las que se hace referencia este numeral, se encuentran en el CAPITULO VII: TABULACIONES Y GRAFICOS.

5.9. Selección de mejores alternativas y/o realización de nuevas mezclas de prueba

Seleccionamos la mezcla MP10-A1-HAR, puesto que presenta los mejores resultados, en cuanto se refiere a condiciones de resistencia y trabajabilidad, sin presencia de segregación, ni exceso de finos.

La resistencia a la compresión se obtuvo dentro de la tolerancia esperada, el asentamiento, fue adecuado determinando una buena trabajabilidad, la norma ACI 211.4R-93 (reaprobada en 1998) expresa que los hormigones de alta resistencia deberán tener el más bajo asentamiento para que pueda ser manejado correctamente y consolidado en el campo. Un asentamiento de 2 a 4 pulgadas proporciona la trabajabilidad requerida para la mayoría de las aplicaciones, En nuestro caso se tiene que un asentamiento de 3cm, que puede ser mejorado, no existió.

Además su densidad se encuentra dentro de un hormigón normal y consistencia, para producir nuestra mezcla definitiva de hormigón de alta resistencia de $f'_c=59\text{MPa}$.

5.10. Validación de la investigación

Las mezclas de hormigón de alta resistencia se estudiaron, dosificaron, fabricaron y ensayaron siguiendo los procesos estándar, cumpliendo con normativas nacionales: Norma técnica Ecuatoriana, y Norma Ecuatoriana de la Construcción: NTE-INEN y NEC-2011, y en el caso de no existir las especificaciones requeridas, se emplearon las normativas internacionales de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM), con los reglamentos producidos por los Comités del Instituto Americano del Concreto, ACI: 211, 214, 301, 318, 363; por cuanto los resultados obtenidos serán factibles de su verificación a

cualquier momento, reproduciendo en condiciones de laboratorio “*condiciones controladas*”,⁶² con los materiales y procesos especificados en esta investigación.

CAPITULO VI: MEZCLAS DEFINITIVAS

6.1 Diseño de mezclas definitivas

La mezcla MP10-A1-HAR es la mezcla definitiva, con la cual fabricaremos 12 probetas cilíndricas para la evaluación de la resistencia a la compresión del hormigón.

Proporciones para 12 cilindros : considerando adiciones y aditivos

Material	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,80	0,26
CEMENTO	15,20	1,00
ARENA	8,44	0,51
RIPIO	18,74	1,13
	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENIUM 3000 NS 3,5%	0,50	0,47
MICROSILICE RHEOMAC SF 100 8%	1,32	-

6.2 Ensayos de probetas

6.2.1 Ensayos de probetas a la edad de 3, 7, 28 y 56 días

Con el objetivo de obtener resultados satisfactorios y estadísticamente confiables, para el hormigón de alta resistencia, las probetas cilíndricas fueron ensayadas a los 3, 7, 28 y 56 días después de su fabricación, 3 probetas por cada edad, dando un total de 12 muestras de ensayo, a continuación se presentan los resultados obtenidos:

⁶² “*Condiciones controladas*”: se define por condiciones controladas, a las aquellas condiciones que están sujetas al ajuste, y manipulación humana, y que solo serán posibles de reproducir verazmente en laboratorios con personal y equipo calificado.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

NORMA: NTE INEN 1573: 2010-1R (ASTM- C39)
TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 59$ MPa) UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO
FECHA : 28 DE OCTUBRE DEL 2013
MEZCLA: MDEF-HAR

Mina de Origen : Cantera Río Guayllabamba
Cemento : Cemento Portland Puzolánico TIPO IP, Armaduro Especial
Material : Mezcla con material lavado y clasificado de TNM = 3/8 pulg, de granulometría, 3.0% de aditivo Glenium 3000 NS (BASF) y 8% de microsilíce Rheomac SF 100 (BASF).

Resistencia Especificada f'_c : 59,00 MPa

Resistencia Requerida f'_{cr} : 69,90 MPa

Mezclado : CONCRETERA

Proporciones para 12 cilindros : considerando adiciones y aditivos

Material	Peso (kg)	Dosificación
AGUA	3,72	0,26
CEMENTO	15,20	1,00
ARENA	8,44	0,51
RIPIO	18,74	1,13
	Peso (kg)	Volumen (Lt)
ADITIVO GLENIUM 3000 NS 3,0%	0,58	0,54
MICROSILICE RHEOMAC SF 100 8%	1,32	-

PROPIEDAD	VALOR
Asentamiento	3cm
Consistencia	Plástica
Segregación	No presenta



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Resultados de la densidad del hormigón:

DENSIDAD DEL HORMIGON FRESCO							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES MOLDE		VOLUMEN RECIPIEN TE	PESO MOLD E VACI O	PESO MOLDE + HORMIG ON FRESCO	PESO HORMIG ON FRESCO	DENSIDA D HORMIG ON FRESCO
	DIAMETR O PROM	ALTUR A PROM					
	cm	cm	cm ³	g	g	g	g/cm ³
1	10,0	20,0	1570,80	4406	8315	3909	2,49
2	10,2	20,0	1634,26	4443	8355	3912	2,39
3	10,2	20,0	1634,26	4407	8292	3885	2,38
4	10,2	20,0	1634,26	3950	7785	3835	2,35
5	10,2	20,0	1634,26	4393	8305	3912	2,39
6	10,2	20,0	1634,26	4508	8418	3910	2,39
7	10,1	20,0	1602,37	4466	8380	3914	2,44
8	10,3	20,0	1666,46	4390	8295	3905	2,34
9	10,0	20,0	1570,80	4410	8326	3916	2,49
10	10,2	20,0	1634,26	4481	8365	3884	2,38
11	10,2	20,0	1634,26	3855	7865	4010	2,45
12	10,2	20,0	1634,26	4424,00	8320	3896	2,38
						PROM=	2,41

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 3 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUM EN	PESO HORMIGO N ENDURECI DO	DENSIDA D HORMIG ON
	DIAMET RO	DIAMET RO PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
10	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3912	2,39
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
5	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3945	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
8	10,3	10,3	20,0	20,0	1655,69	3935	2,38
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
						PROM=	2,39



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 7 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
2	10,3	10,2	20,0	20,0	1644,96	3945	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
6	10,2	10,2	20,0	20,0	1644,96	3943	2,40
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
7	10,3	10,2	20,0	20,0	1644,96	3944	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,40

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 28 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUMEN	PESO HORMIGON ENDURECIDO	DENSIDAD HORMIGON
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM	ALTURA	ALTURA PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
3	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3930	2,40
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
4	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3980	2,44
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
12	10,2	10,2	20,0	20,0	1634,26	3945	2,41
	10,2		20,0				
	10,2		20,0				
						PROM=	2,42



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

DENSIDAD DEL HORMIGON A LOS 56 DIAS							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBET A N°	DIMENSIONES CILINDRO				VOLUM EN	PESO HORMIGO N ENDURECI DO	DENSIDA D HORMIG ON
	DIAMET RO	DIAMET RO PROM	ALTUR A	ALTUR A PROM			
	cm		cm		cm3	g	g/cm3
11	10,2	10,2	20,0	20,0	1623,59	3955	2,44
	10,1		20,0				
	10,2		20,0				
1	10,2	10,2	20,0	20,0	1644,96	3949	2,40
	10,2		20,0				
	10,3		20,0				
7	10,2	10,1	20,0	20,0	1612,96	3940	2,44
	10,1		20,0				
	10,1		20,0				
						PROM=	2,43

6.3 Resultados de ensayos a compresión simple

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 3 DIAS							
31 DE OCTUBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	% f´cr
10	10,2	10,2	0,26	43341,2	530,41	52,02	74,41
	10,2						
	10,2						
5	10,2	10,2		43912,3	537,40	52,70	75,39
	10,2						
	10,2						
8	10,3	10,3		44624,8	539,05	52,86	75,63
	10,2						
	10,3						
				PROM=	535,62	52,53	75,14



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 7 DIAS							
4 DE NOVIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		kg	Kg/cm2	MPa	% f'cr
2	10,3	10,2	0,26	51337,4	624,18	61,21	87,57
	10,2						
	10,2						
6	10,2	10,2		51693,6	628,51	61,64	88,18
	10,2						
	10,3						
7	10,3	10,2		52723,1	641,03	62,86	89,93
	10,2						
	10,2						
				PROM=	631,24	61,90	88,56

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS							
25 DE NOVIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		g	Kg/cm2	MPa	% f'cr
3	10,2	10,2	0,26	59843,5	732,36	71,82	102,75
	10,2						
	10,2						
4	10,2	10,2		57648,1	705,50	69,19	98,98
	10,2						
	10,2						
12	10,2	10,2		59199,6	724,48	71,05	101,64
	10,2						
	10,2						
				PROM=	720,78	70,68	101,12



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 56 DIAS							
9 DE DICIEMBRE DEL 2013							
1	2	3	4	5	6	7	8
PROBETA N°	DIMENSIONES CILINDRO		RELACION w/(c+p)	CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESION		
	DIAMETRO	DIAMETRO PROM					
	cm	cm		g	Kg/cm2	MPa	% Con respecto a f'cr
1	10,2	10,2	0,26	65200	792,73	77,74	111,22
	10,2						
	10,3						
7	10,2	10,1		66400	823,33	80,74	115,51
	10,1						
	10,1						
11	10,2	10,2		65112	796,84	78,14	111,79
	10,2						
	10,2						
				PROM=	804,30	78,87	112,84

6.4 Tratamiento Estadístico⁶³

El hormigón, un material preparado con componentes de naturaleza heterogéneos, cuyo proceso de fabricación y ensayos están sometidos a variaciones que no pueden ser totalmente controladas, es sin duda alguna un material “estadísticamente variable”, que debe ser estudiado obedeciendo a las leyes estadísticas para obtener resultados con mayor aceptación o garantía y que representen la realidad de sus condiciones.

Por este antecedente es lógico pensar que la aceptabilidad del hormigón no deberá limitarse solo para aquellos hormigones en los cuales los resultados de sus ensayos a la resistencia a la compresión sean iguales o superiores a las resistencias de diseño, es por ello que se plantea la siguiente interrogante:

¿Hasta qué punto se puede considerar que un hormigón cumple los requisitos de diseño o de aceptabilidad?

Para responder a esta incógnita ha sido necesario desarrollar un procedimiento de evaluación que permita establecer los límites de aceptabilidad en función no solo de los resultados de los ensayos de las probetas, sino de la posible regularidad de la producción del hormigón y de las exigencias derivadas del tipo de obra.

Dicho procedimiento ha sido recopilado por el comité ACI 214 R, cuya base fundamental es la aplicación estadística de la “Desviación Estándar” y “Resistencia Característica”

A continuación se estudia a detalle cada uno de estos conceptos:

6.4.1 Desviaciones Estándar

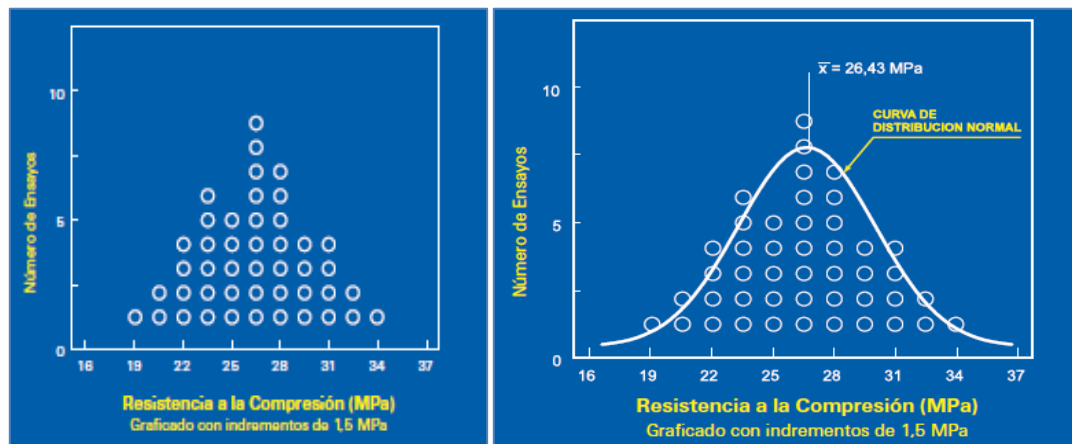
En la presente investigación la medida de la resistencia a la compresión de nuestras probetas de hormigón, presenta cierto grado de dispersión en sus resultados, es por ello que el cálculo de la desviación típica o estándar se convierte en un parámetro

⁶³ (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, CAMPOSANO, J.; Nota Técnica: Control de Calidad en el Hormigón, Control por resistencia, Parte I, 2009)

indispensable y fundamental para establecer la realidad estadística del hormigón de alta resistencia, así como para evaluar al hormigón bajo ciertos criterios de aceptabilidad, cuyas acepciones principales se detallan a continuación:

Graficando un cierto número de ensayos con respecto a su resistencia a la compresión, para una determinada clase de hormigón, se puede establecer la cantidad de ensayos que presentan las resistencias, sean estas menores, iguales o mayores, al valor promedio. Esta representación se ajusta al modelo teórico de la curva de Distribución Normal o Campana de Gauss, cuyo punto máximo corresponde al valor promedio de las resistencias a la compresión obtenidas en los ensayos.

Figura 32 Distribución Frecuente de los datos vs Resistencias a la compresión, que se ajusta a una curva de Distribución Normal o de Gauss



Fuente: (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, CAMPOSANO, J.; Nota Técnica: Control de Calidad en el Hormigón, Control por Resistencia, Parte I; 2009; págs. 9,10)

En concepto, la desviación estándar en una distribución, es una medida del grado de variación de los datos con respecto a la media aritmética de los mismos.⁶⁴

Los puntos de inflexión de la Curva de Distribución Normal determinan el valor de la Desviación Estándar (S), y según la normativa (ACI 214R-02, Evaluation of Strength Test Results of Concrete, 2002), se puede determinar a través de las siguientes expresiones:

⁶⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Desviaci%C3%B3n_est%C3%A1ndar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} \quad \text{Ec. (3.2a) y (3.2b) ACI 214R-02}$$

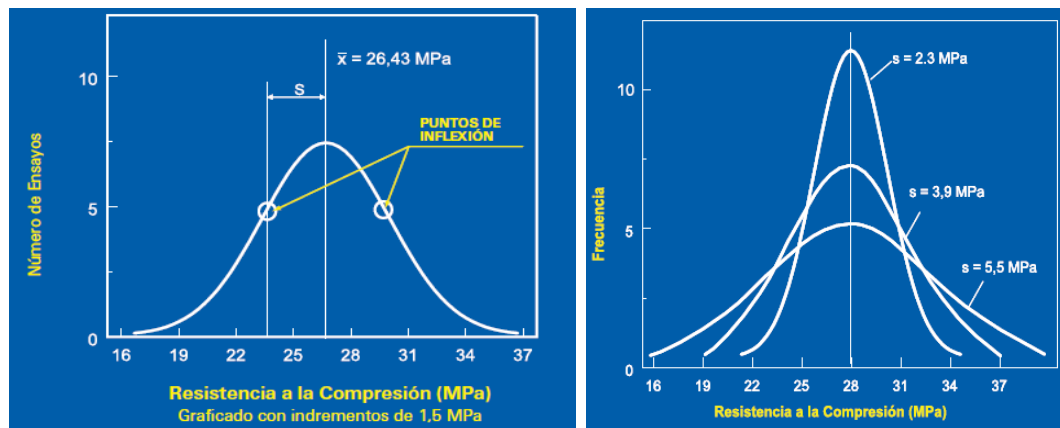
Siendo:

n = Número de Ensayos;

xi = Valores de cada uno de los n ensayos (promedio de dos probetas);

\bar{X} = Promedio de los valores de los “n” ensayos.

Figura 33 Distribución Normal y Desviación estándar



Fuente: (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, CAMPOSANO, J.; Nota

Técnica: Control de Calidad en el Hormigón, Control por Resistencia, Parte I; 2009; págs. 10,11)

Para hormigones, que a pesar de tener la misma resistencia promedio, pero con resultados de resistencias individuales más variables, las curvas correspondientes de distribución normal pueden diferenciarse por el valor de su desviación estándar, por ejemplo en el caso de que se tenga un mayor valor de S, existirá un menor número de ensayos con resistencias cercanas a la resistencia promedio y de forma viceversa mientras más pequeña sea la desviación estándar los valores de resistencia de los ensayos estarán más próximos a la resistencia .

A continuación se presentan los resultados de resistencia a la compresión para el cálculo de la desviación estándar medidos a los 28 días de edad:



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TEMA: HORMIGON DE ALTA RESISTENCIA ($f_c = 59$ MPa)
UTILIZANDO EL CEMENTO ARMADURO ESPECIAL
DE LA LINEA LAFARGE
TIPO : CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP,
ARMADURO
FECHA : 13 DE ENERO DEL 2014
MEZCLA: MDEF1-HAR

N°	D	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
	cm	Kg	MPa
1	10,2	58123,4	69,76
2	10,2	58587,8	70,31
3	10,2	59005,4	70,81
4	10,3	57986,4	68,25
5	10,2	57634,9	69,17
6	10,2	58897,6	70,69
7	10,2	59715,7	71,67
8	10,2	59100,1	70,93
9	10,3	57803,2	68,03
10	10,2	57004,3	68,41
11	10,2	58945,0	70,74
12	10,3	59780,0	70,36
13	10,2	57768,0	69,33
14	10,1	56780,0	69,50
15	10,2	57440,0	68,94



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR:

DESVIACION ESTANDAR		
Nº	xi	xi ²
1	69,76	4865,90
2	70,31	4943,96
3	70,81	5014,69
4	68,25	4657,63
5	69,17	4784,45
6	70,69	4996,39
7	71,67	5136,15
8	70,93	5030,80
9	68,03	4628,25
10	68,41	4680,33
11	70,74	5004,43
12	70,36	4950,22
13	69,33	4806,57
14	69,50	4830,22
15	68,94	4752,15

Número de ensayo n =	15
Valor promedio de valores de xi=	69,79
$\sum xi^2 =$	73082,14
$S = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - n\bar{x}^2}{n-1}} =$	1,10

6.5 Resistencias características

Por la necesidad de obtener un solo valor confiable que represente los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión, se determinará la resistencia característica de nuestro hormigón de alta resistencia, con ayuda de los siguientes procedimientos:

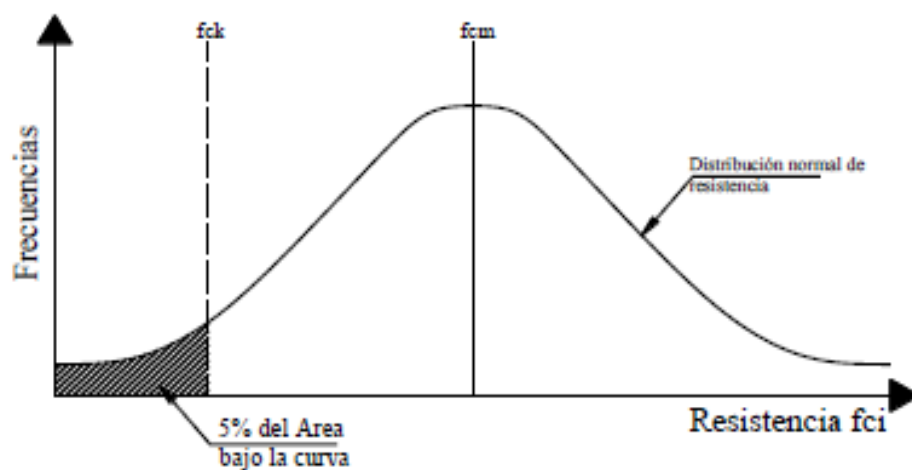
- Según Montoya-Meseguer-Moran
- Según Oscar Padilla
- Según Saliger
- Según Norma Ecuatoriana de la Construcción

Procedimiento según Montoya-Meseguer-Moran

Según Conrado & Rojas, (2012), Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guayllabamba, tesis, indica:

La resistencia característica del hormigón (f'_{ck}), es aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia más altos que (f'_{ck}). (pág. 230).

Figura 34 Distribución Estadística Normal, Resistencia Característica (f'_{ck})



Fuente: (YANCHA, 2013, pág. 188)

Admitiendo la hipótesis de distribución normal, la resistencia característica viene definida por la expresión:

$$f'_{ck} = f'_{cm} \times (1 - 1.64 \cdot \delta)$$

Siendo:

f'_{ck} = Resistencia Característica

f'_{cm} = Resistencia Media

δ = Coeficiente de variación que depende de la fabricación del hormigón.

$$f'_{cm} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{f'_{ci}}{n} \right)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f'_{ci} - f'_{cm}}{f'_{cm}} \right)^2}$$

Luego de haber calculado la resistencia característica (f'_{ck}), se deberán calcular el valor de las Resistencias Características Máxima, Media y Mínima, en función de la desviación estándar del conjunto de datos:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f'_{ci}^2 - n(f'_{cm})^2}{n - 1}}$$

$$f'_{ck_{max}} = f'_{ck} + s$$

$$f'_{ck_{media}} = f'_{ck}$$

$$f'_{ck_{min}} = f'_{ck} - s$$

Siendo:

s = Desviación Estándar

n = Número de ensayos considerados

$f'_{ck_{max}}$, $f'_{ck_{media}}$, $f'_{ck_{min}}$ = Resistencia Característica Máxima, media y mínima



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, según Montoya-Meseguer-Moran

N°	f'ci (Mpa)	f'ci -f'cm	$\left(\frac{f'ci - f'cm}{f'cm}\right)^2$
1	69,76	-0,04	0,00000
2	70,31	0,52	0,00006
3	70,81	1,02	0,00021
4	68,25	-1,55	0,00049
5	69,17	-0,62	0,00008
6	70,69	0,89	0,00016
7	71,67	1,87	0,00072
8	70,93	1,14	0,00026
9	68,03	-1,76	0,00064
10	68,41	-1,38	0,00039
11	70,74	0,95	0,00019
12	70,36	0,57	0,00007
13	69,33	-0,46	0,00004
14	69,50	-0,29	0,00002
15	68,94	-0,86	0,00015
		Suma=	0,00348

Resistencia Promedio (f'cm) =	69,79
N° Muestras (n) =	15
Coefficiente de Variación (δ) =	0,01523
Resistencia Característica (f'ck)=	68,05
Desviación Estándar (S) =	1,10
f'ck max =	69,15
f'ck media =	68,05
f'ck min =	66,95

Procedimiento según Oscar Padilla⁶⁵

Para determinar la resistencia característica, el autor Oscar Padilla propone el siguiente procedimiento:

Se ordenan los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de los “n” cilindros de mayor a menor.

Se divide el grupo de “n” ensayos en dos subgrupos, de tal forma que contengan igual número de valores si el número de ensayos es par, si es impar eliminamos el valor del ensayo intermedio, para poder tener de igual forma dos grupos de igual número de datos.

Luego se procede a sacar el promedio aritmético de cada uno de ellos, y finalmente calculamos el valor de la resistencia característica, así como sus límites inferior y superior con las siguientes ecuaciones:

$$f'_{ck} = 2f'_{cm1} - f'_{cm2}$$

$$f'_{ck_{max}} = f'_{ck} + s$$

$$f'_{ck_{media}} = f'_{ck}$$

$$f'_{ck_{min}} = f'_{ck} - s$$

Dónde:

f'_{ck} = Resistencia característica

f'_{cm1} = Resistencia promedio del subgrupo 1

f'_{cm2} = Resistencia promedio del subgrupo 2

$f'_{ck_{max}}$, $f'_{ck_{media}}$, $f'_{ck_{min}}$ = Resistencia característica máxima, media y mínima

⁶⁵ YANCHA, A., Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'_c = 28$ MPa), fabricado con materiales de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo. Tesis, (2013), pág. 191



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, según Oscar Padilla

Datos sin ordenar	
N°	f'ci (Mpa)
1	69,76
2	70,31
3	70,81
4	68,25
5	69,17
6	70,69
7	71,67
8	70,93
9	68,03
10	68,41
11	70,74
12	70,36
13	69,33
14	69,50
15	68,94

Datos ordenados de mayor a menor	
N°	f'ci Mpa
7	71,67
8	70,93
3	70,81
11	70,74
6	70,69
12	70,36
2	70,31
1	69,76
14	69,50
13	69,33
5	69,17
15	68,94
10	68,41
4	68,25
9	68,03

Subgrupo 1	
N°	f'ci Mpa
7	71,67
8	70,93
3	70,81
11	70,74
6	70,69
12	70,36
2	70,31
f'cm1=	70,79

Subgrupo 2	
N°	f'ci Mpa
1	69,76
14	69,50
13	69,33
5	69,17
15	68,94
10	68,41
4	68,25
f'cm1=	69,05

Resistencia Característica (f'ck)=
Desviación Estándar (S) =
f'ck max =
f'ck media =
f'ck min =

72,52
1,10
73,62
72,52
71,42

Procedimiento según Saliger

El autor para calcular la resistencia característica propone adoptar el 75% del valor promedio (media aritmética) de la resistencia del total de ensayos realizados.

$$f'_{ck} = 0,75 * f'_{cm}$$

Dónde:

f'_{ck} = Resistencia Característica.

f'_{cm} = Resistencia promedio o Resistencia media.

De igual forma que en los métodos anteriores podemos obtener los límites máximo y mínimo para la resistencia característica.

$$f'_{ck_{max}} = f'_{ck} + s$$

$$f'_{ck_{media}} = f'_{ck}$$

$$f'_{ck_{min}} = f'_{ck} - s$$



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, según Saliger

N°	f'ci (Mpa)
1	69,76
2	70,31
3	70,81
4	68,25
5	69,17
6	70,69
7	71,67
8	70,93
9	68,03
10	68,41
11	70,74
12	70,36
13	69,33
14	69,50
15	68,94

f'cm=	69,79
Resistencia Característica (f'ck): $0,75f'cm=$	52,34
Desviación Estándar (S) =	1,10
f'ck max =	53,44
f'ck media =	52,34
f'ck min =	51,24

Procedimiento según Norma Ecuatoriana de la Construcción⁶⁶

El método esencialmente consiste, en determinar la desviación estándar de un grupo de cilindros, para encontrar a partir de ella la resistencia característica del hormigón, a continuación se detalla el proceso:

Se establecen dos ecuaciones para la determinación de la Resistencia característica:

$$f'_{cr\ 1} = f'_c + 1.34 * k * s$$

$$f'_{cr\ 2} = 0.90 * f'_c + 2.33 * k * s$$

Dónde:

f'_{cr} = Resistencia característica escogida del mayor valor de f'_{c1} y f'_{c2}

f'_c = Resistencia especificada a la compresión

k = Factor de mayoración

s = Desviación estándar calculada

Calculo de la desviación estándar (s):

- Para calcular la desviación estándar, se tiene la siguiente ecuación, pero por lo menos se debe tener 15 resultados de ensayos individuales (recomendándose un valor de 30 resultados o más).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_m)^2}{n-1}}$$

n = número de ensayos considerados

σ_i = Resultado de ensayos individuales

σ_m = Promedio de los “ n ” resultados de ensayos considerados

- Cuando se dispone de menos de 30 resultados, se toma un factor de mayoración de la desviación estándar de la tabla siguiente:

Tabla 23: Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos

Número de Ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar (k)
Menos de 15	N.A. (no aplica)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

⁶⁶ (N.E.C-11, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 4: Estructuras de Hormigón Armado, 2011, págs. 25-27), que se basa en el código (ACI 301: Especificaciones para hormigón estructural).



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, según Norma Ecuatoriana de la Construcción

N°	σ_i (Mpa)	$(\sigma_i - \sigma_m)$	$(\sigma_i - \sigma_m)^2$
1	69,76	-0,04	0,0013
2	70,31	0,52	0,2711
3	70,81	1,02	1,0442
4	68,25	-1,55	2,3895
5	69,17	-0,62	0,3880
6	70,69	0,89	0,7965
7	71,67	1,87	3,5131
8	70,93	1,14	1,2894
9	68,03	-1,76	3,1026
10	68,41	-1,38	1,9037
11	70,74	0,95	0,9013
12	70,36	0,57	0,3194
13	69,33	-0,46	0,2145
14	69,50	-0,29	0,0858
15	68,94	-0,86	0,7342
Suma=			16,9547

Valor promedio (σ_m) =	69,79
N° Muestras (n) =	15
Desviación Estándar (S) =	1,10
factor de mayoración (k) para 15 ensayos =	1,16
Resistencia Especificada =	59,00
f'_{cr1} =	60,71
f'_{cr2} =	56,07
Resistencia Característica (f'_{cr})= f'_{cr1} =	60,71



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

Tabla 24 Determinación de la Resistencia Característica del hormigón, Resultados de procedimientos

Procedimiento/Autor	Resistencia Característica (MPa)
Resistencia Media	69,79
Montoya-Meseguer-Morán	68,05
Oscar Padilla	72,52
Saliger	52,34
Norma Ecuatoriana de la Construcción	60,71

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

CAPITULO VII: TABULACIONES Y GRAFICOS

A continuación se presentan los resultados de todas las mezclas; resultados que incluyen a las mezclas de prueba, y a la mezcla definitiva, adecuados en una forma resumida tabular y gráfica muy didáctica:

A) Mezclas de prueba: De MP1a MP11; MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3.

- Resultados de diseños para obtener la mezcla patrón: de MP1-HAR hasta MP11-HAR
 1. Los resultados de la totalidad de las 11 mezclas; resultados de resistencia a la compresión, asentamiento y densidad, para evaluar la mezcla de mejor desempeño.
 2. Los resultados de las mezclas: MP2 y MP3, analizando comparativamente la resistencia a la compresión, cuando se utiliza para el diseño de la mezcla, la tabla 4.3.5.(a) para hormigones sin aditivo HRWR, y tabla 4.3.5.(b) para hormigones con aditivo HRWR .
 3. Los resultados de las mezclas: MP1, MP2, MP5, analizando comparativamente la resistencia a la compresión, cuando variamos el tamaño nominal máximo del agregado grueso.
 4. Los resultados de las mezclas: MP7 Y MP8, analizando comparativamente la resistencia a la compresión, cuando variamos el aditivo y su porcentaje, para producir una determinada trabajabilidad.
 5. Los resultados de las mezclas: MP6, MP9, MP10, MP11, analizando comparativamente la resistencia a la compresión, cuando la microsílíce y su porcentaje.
- Resultados de los tres diseños a base de la mezcla patrón MP10; MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3, para obtener la mezcla definitiva.

- Mezcla definitiva: MDEF-HAR
- Para la mezcla definitiva calcularemos la dosificación para un metro cúbico y analizaremos su costo unitario a la fecha actual.

MEZCLAS DE PRUEBA:

MP1-HAR

MP2-HAR

MP3-HAR

MP4-HAR

MP5-HAR

MP6-HAR

MP7-HAR

MP8-HAR

MP9-HAR

MP10-HAR

MP11-HAR

Tabla 25 Resumen de las mezclas para definir la mezcla patrón (MP1a MP11-HAR)

Descripción / Número*	TN M pulg.	Dosificación Final (incluye corrección por humedad y adiciones)				Porcentaje de Aditivo		Porcentaje Microsilíce		Asenta miento (cm)	Consisten cia	Densidad Hormigón (T/m ³ =g/cm ³)		Resist. Prom. Compresión f'cr 28 días (MPa) de las mezclas con f'cr = 69.9 MPa f'c = 59.0 MPa
		w/(c+p)	Cem.	Are.	Rip.	Sikam ent N100	Gleniu m 3000 NS	Rheoma c SF100	Sika fume			Fresco	Endurecido (28 Días)	
MP1-HAR	3/4	0,36	1,00	0,48	1,23	-	-	-	-	3,1	Plástica	2,41	2,39	51,47
MP2-HAR	1/2	0,37	1,00	0,54	1,24	-	-	-	-	3,0	Plástica	2,44	2,37	51,70
MP3- HAR**	1/2	0,36	1,00	1,07	1,75	1,0%	-	-	-	3,0	Plástica	-	2,40	46,31
MP4- HAR**	3/8	0,37	1,00	1,05	1,65	1,5%	-	-	-	2,5	Plástica	-	2,42	60,39
MP5-HAR	3/8	0,33	1,00	0,57	1,26	-	-	-	-	2,5	Plástica	-	2,38	59,19
MP6-HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	1,5%	-	-	15,0%	2,0	Seca	-	2,35	60,24
MP7-HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	-	1,5%	-	-	15,0	Fluida	-	2,48	75,48
MP8-HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	3,0%	-	-	-	2,5	Plástica	-	2,44	71,03
MP9-HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	-	1,5%	5,0%	-	15,0	Fluida	-	2,44	62,90
MP10- HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	-	1,5%	8,0%	-	15,0	Fluida	-	2,37	73,62
MP11-HAR	3/8	0,26	1,00	0,51	1,13	-	1,5%	10,0%	-	15,0	Fluida	-	2,43	68,66

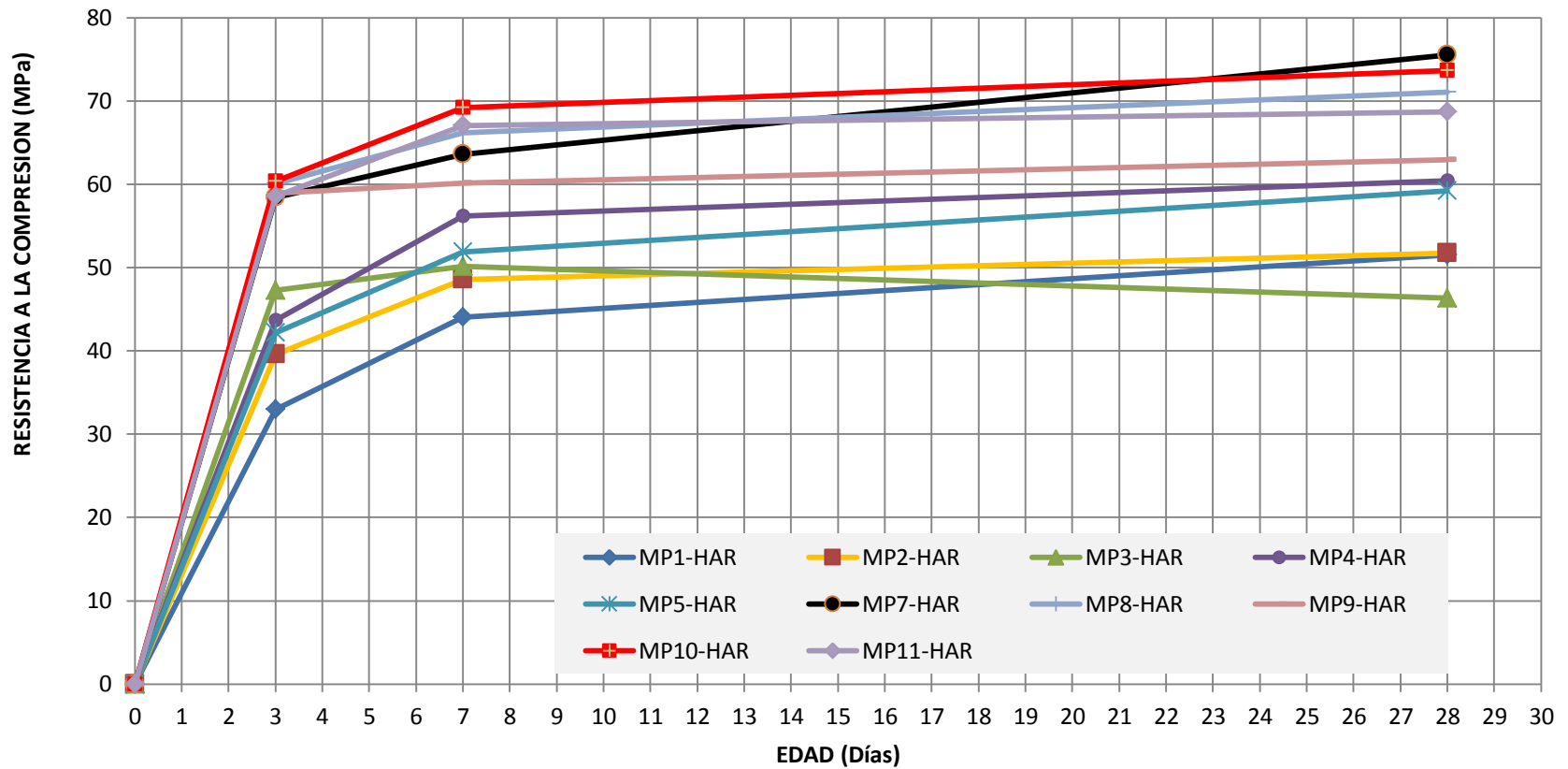
* La descripción de cada una de las mezclas se encuentra detallada en el numeral 5.7.1 de esta investigación

** Mezclas diseñadas con la Norma ACI 211.4R-93, con la tabla 4.3.5. (b), especial para determinar la relación w/(c+p), cuando se utiliza aditivos reductores de agua de alto rango HRWR.

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 15 Curvas Tiempo vs. Resistencia MP1 a MP11-HAR

(MP1 a MP11-HAR) CURVA S TIEMPO Vs. RESISTENCIA



Elaborado por: MOYANO, J., Enero/2014

Gráfico 16 Resistencia Promedio Requerida a la Compresión (28 Días) MP1 a MP11-HAR

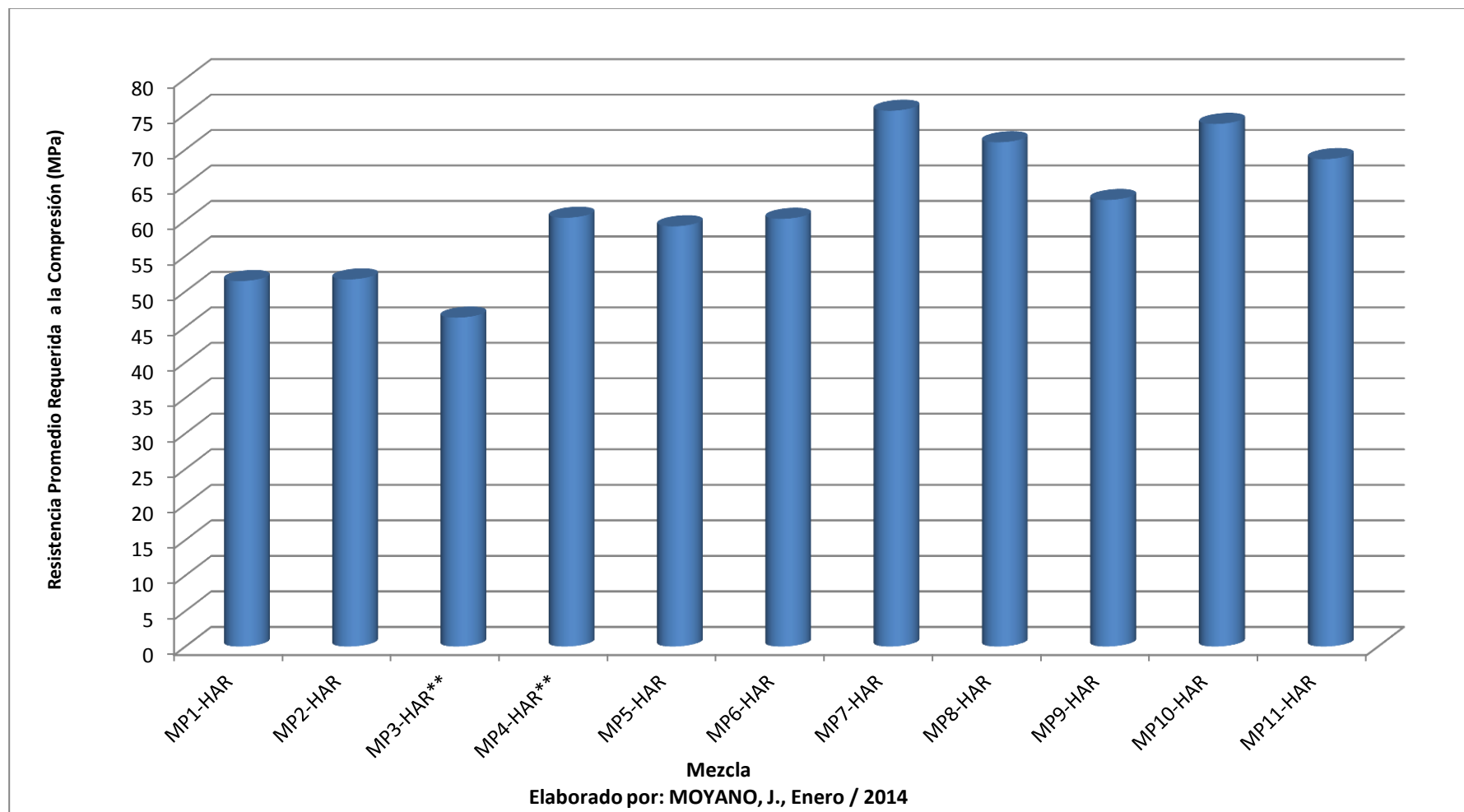


Gráfico 17 Densidad del Hormigón endurecido (28 días de edad) MP1 a MP11-HAR

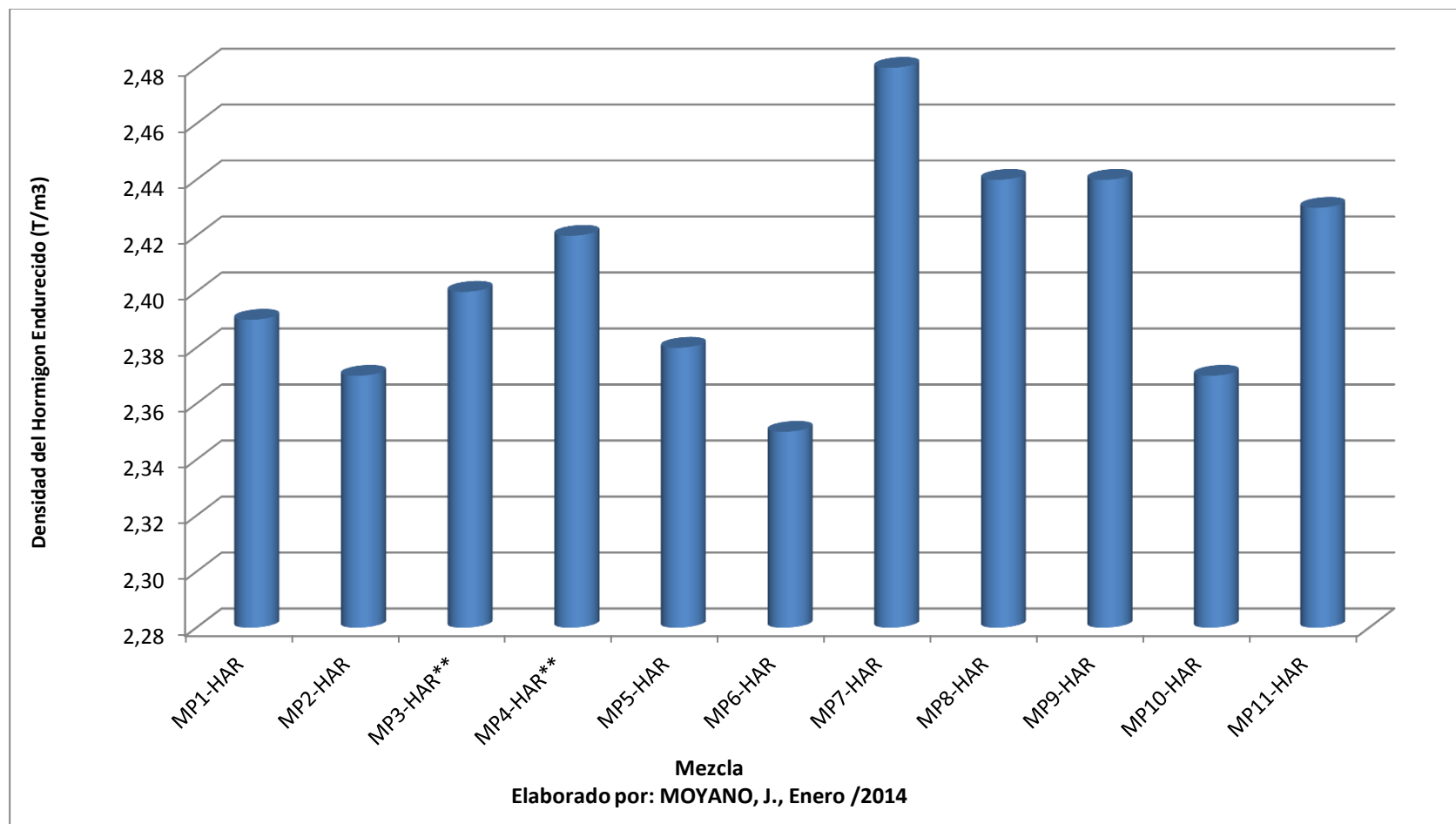


Gráfico 18 Asentamiento de las mezclas MP1 a MP11-HAR

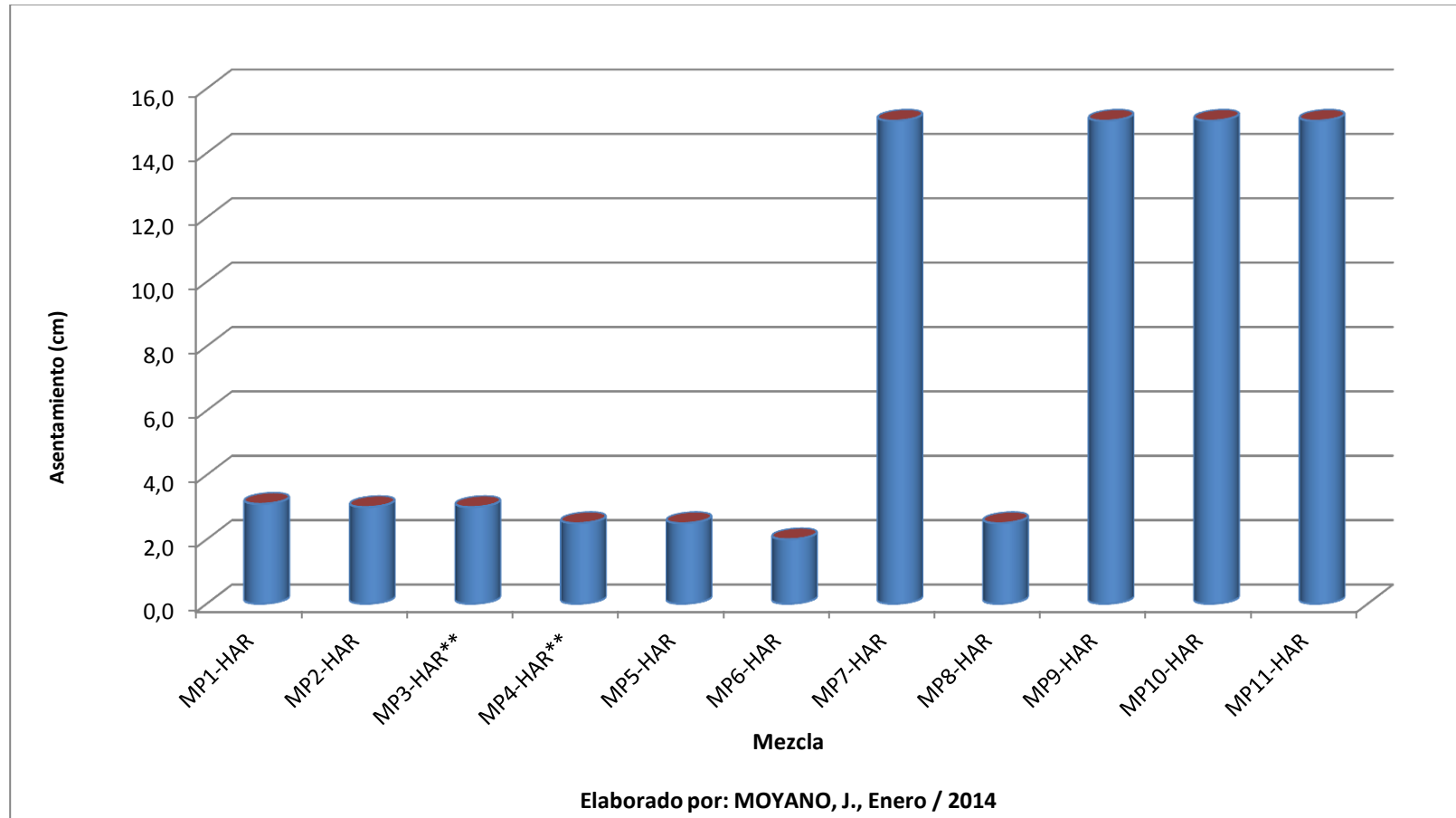
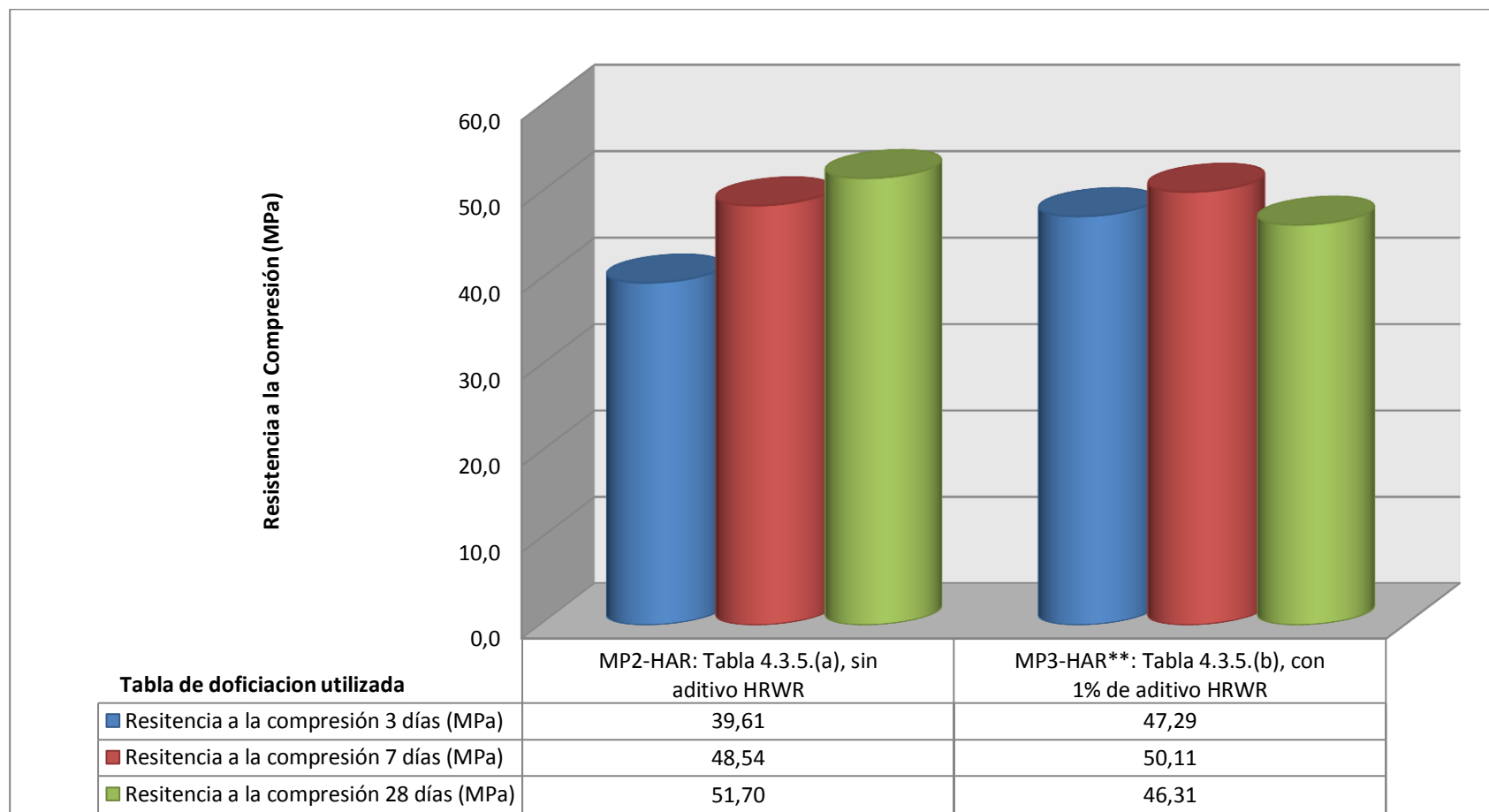
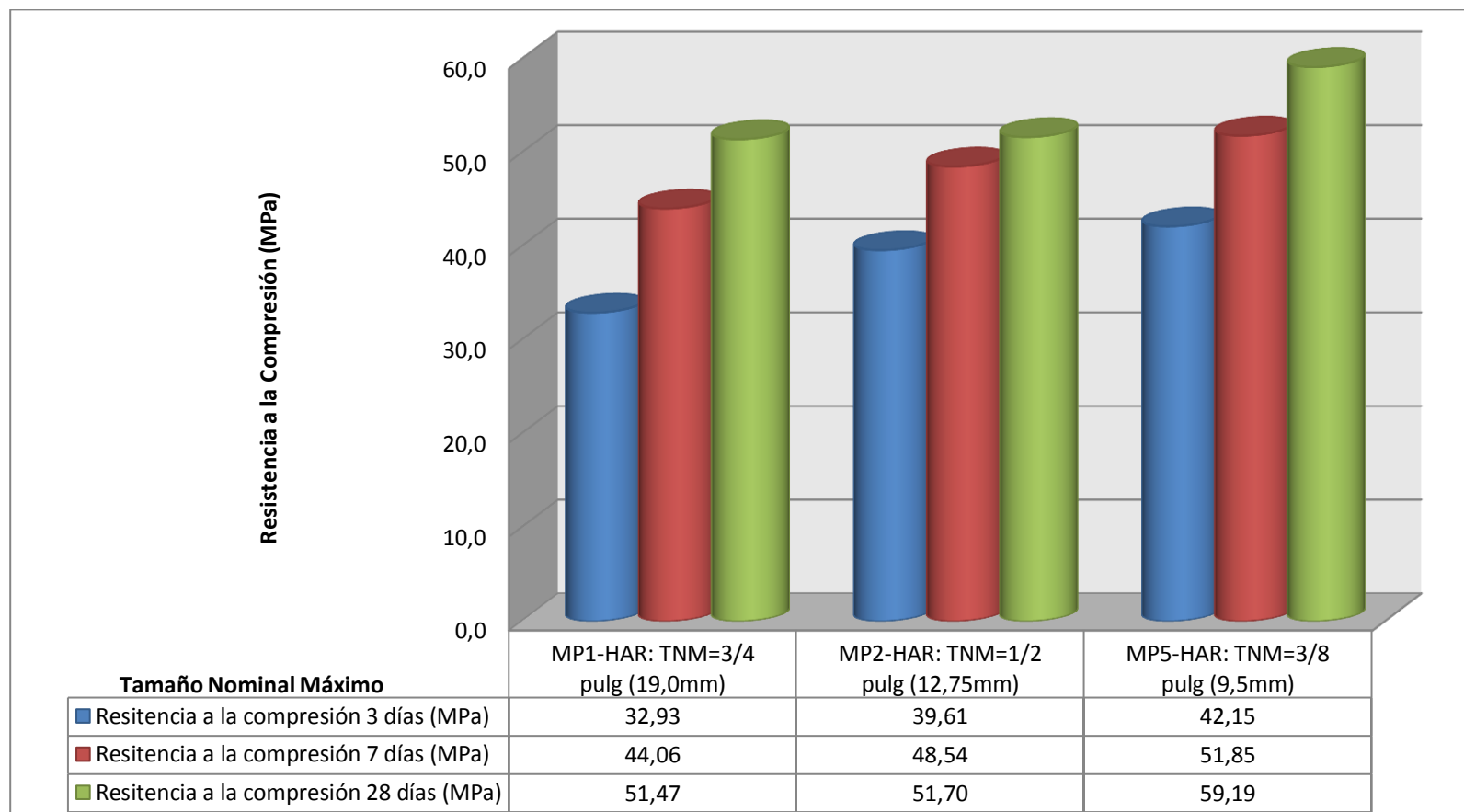


Gráfico 19 Evaluación de la Tabla de Diseño para determinar $w/(c+p)$, ACI.4R-93, en la Resistencia a la Compresión de las mezclas.



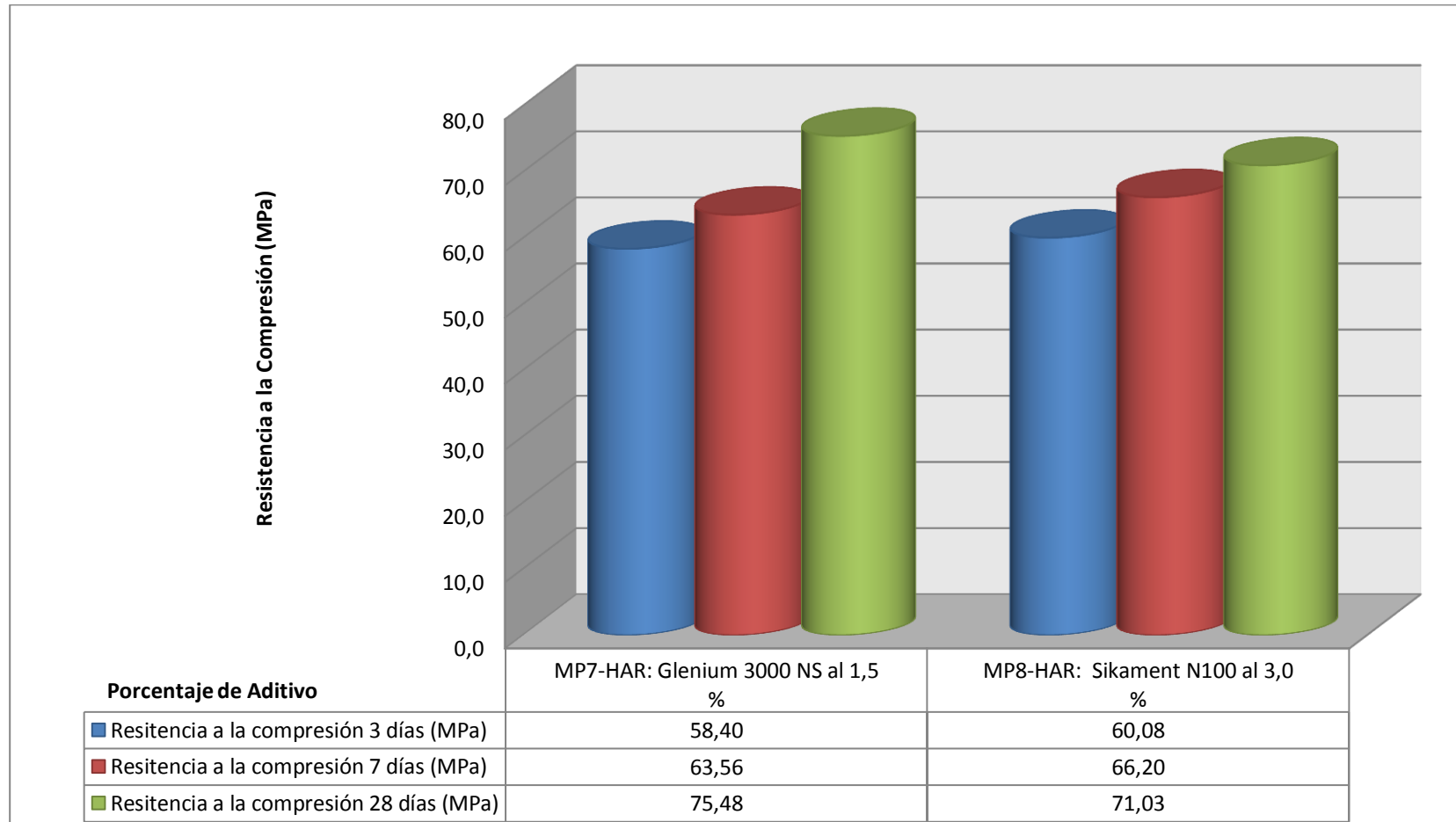
Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 20 Evaluación del Tamaño Nominal Máximo del Agregado Grueso en la Resistencia a la Compresión



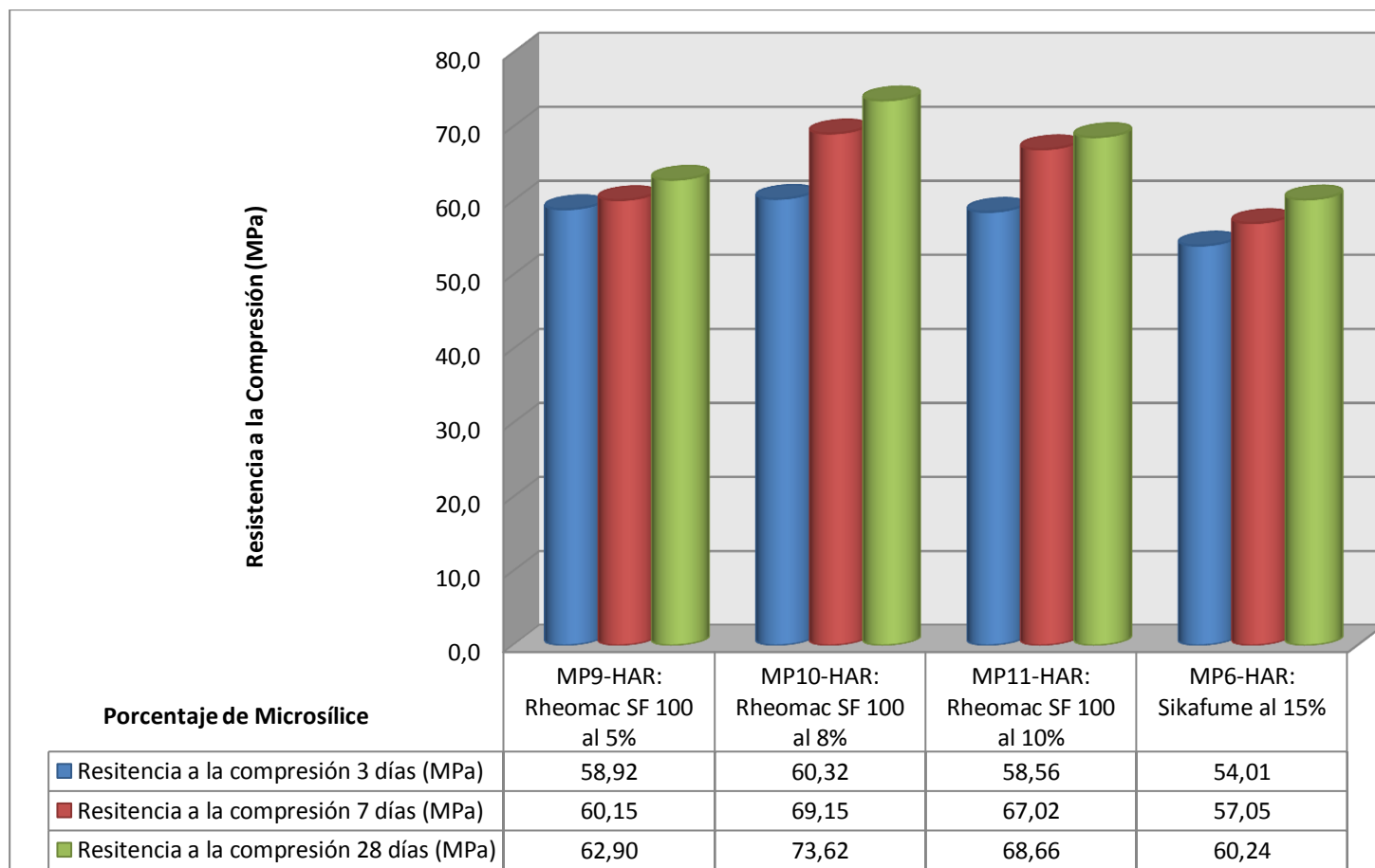
Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 21 Evaluación del Aditivo en la Resistencia a la Compresión



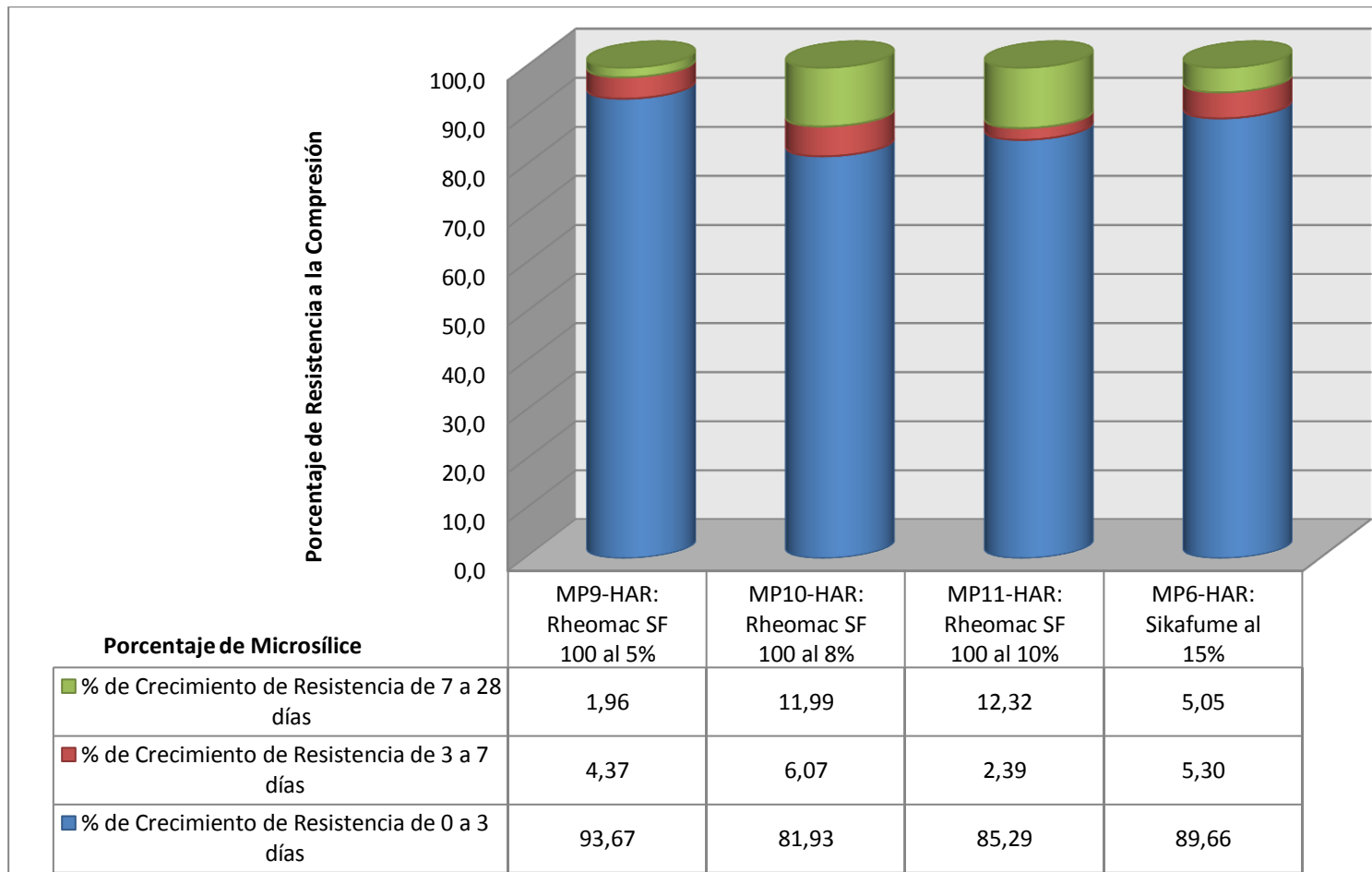
Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 22 Evaluación del Porcentaje de Microsílice en la Resistencia a la Compresión



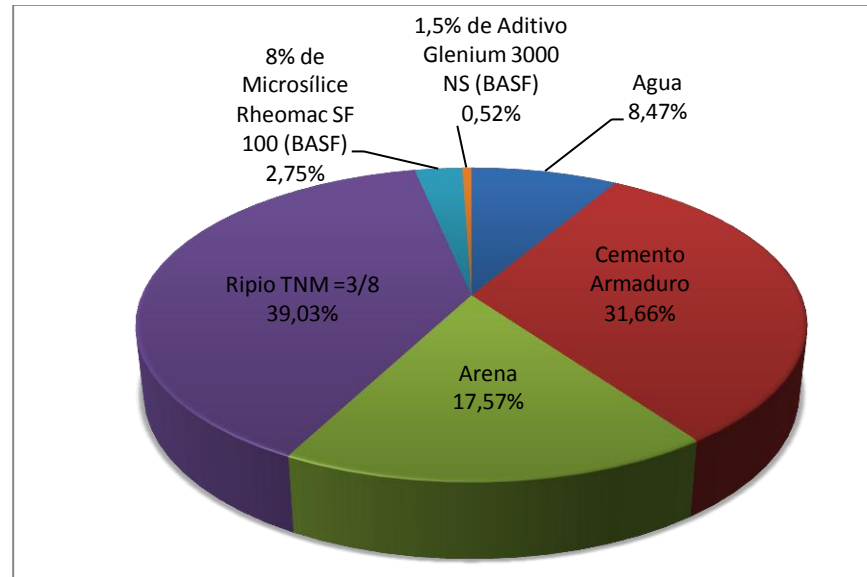
Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 23 Análisis del % de crecimiento de Resistencia a la Compresión en las mezclas con Microsílice



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

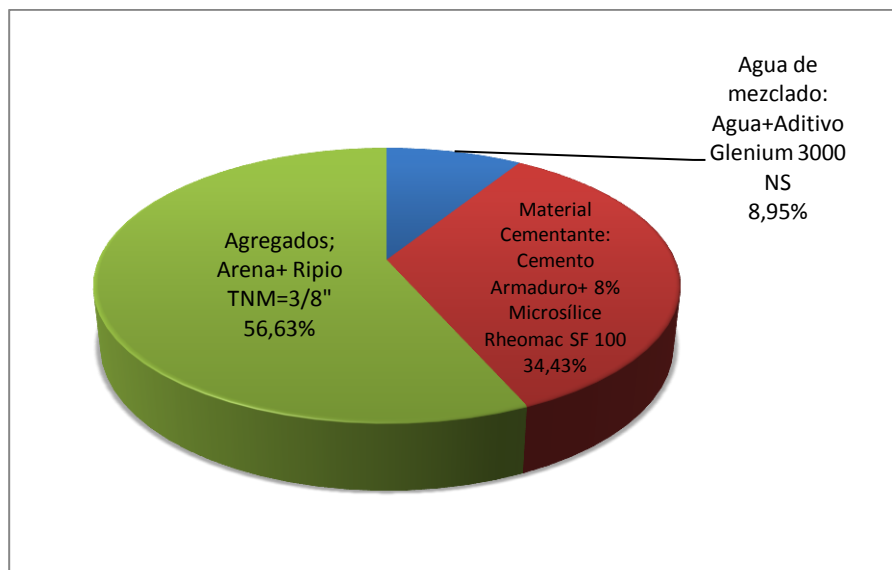
Gráfico 24 Proporciones Mezcla Patrón: MP10-HAR



Dosificación: 0,26; 1,00; 0,51; 1,13 +1,5% de aditivo+8% de microsílice		
Material (Mezcladora: Planetaria)	Cantidades para 10 Cilindros de 10*20 cm (kg)	Porcentaje con respecto al total
Agua	3,39	8,48
Cemento Armaduro	12,67	31,68
Arena	7,03	17,58
Ripio TNM = 3/8	15,62	39,05
8% de Microsílice Rheomac SF 100 (BASF)	1,10	2,75
1,5% de Aditivo Glenium 3000 NS (BASF)	0,21	0,53
Sumatoria: Peso de la mezcla de hormigón:	40,00	100,00

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 25: Proporciones en fases de la Mezcla Patrón: MP10-HAR



Dosificación: 0,26; 1,00; 0,51; 1,13 +1,5% de aditivo + 8% de microsílice		
Material (Mezcladora: Planetaria)	Cantidades Para 10 Cilindros de 10*20 cm (kg)	Porcentaje con respecto al total
Agua de mezclado: Agua + Aditivo Glenium 3000 NS	3,58	8,95
Material Cementante: Cemento Armaduro + 8% Microsílice Rheomac SF 100	13,77	34,43
Agregados; Arena + Ripio TNM=3/8"	22,65	56,63
sumatoria	40,00	100,00

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

MEZCLAS DE PRUEBA: EN FUNCIÓN DE LA MEZCLA PATRON

MP10-A1-HAR

MP10-A2-HAR

MP10-A3-HAR

Tabla 26 Cuadro de Resumen de Mezclas (MP10-A1,MP10-A2,MP10-A3)-HAR						
EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO REQUERIDA (f'cr)					
Días	MP10-A1-HAR		MP10-A2-HAR		MP10-A3-HAR	
	Mpa	% f'cr	Mpa	% f'cr	Mpa	% f'cr
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	46,42	66,41	51,59	73,81	53,73	76,87
7	56,48	80,80	54,03	77,30	60,57	86,66
28	64,31	92,00	66,50	95,13	69,77	99,82

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 26 Curvas Tiempo Vs. Resistencia de las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR

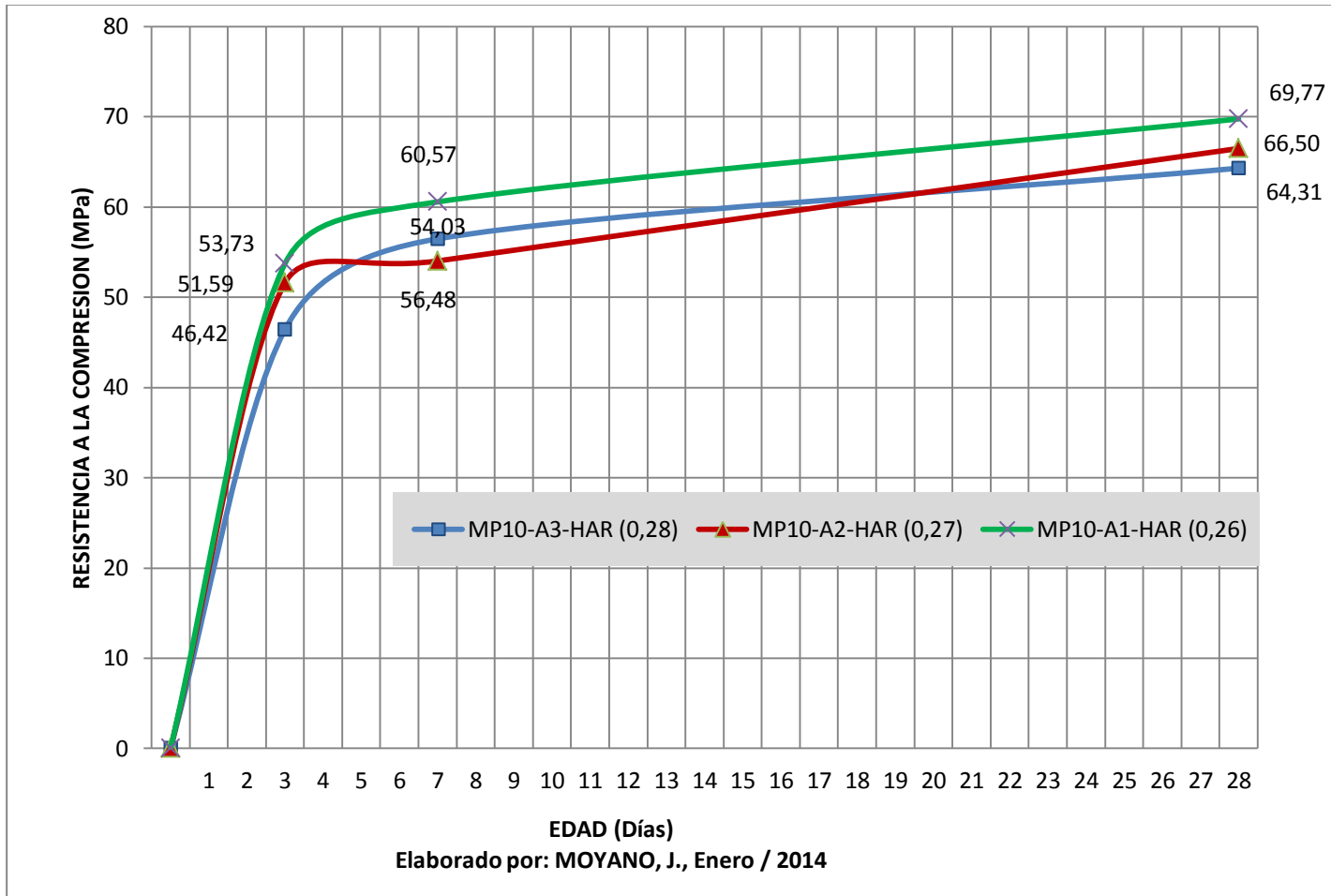
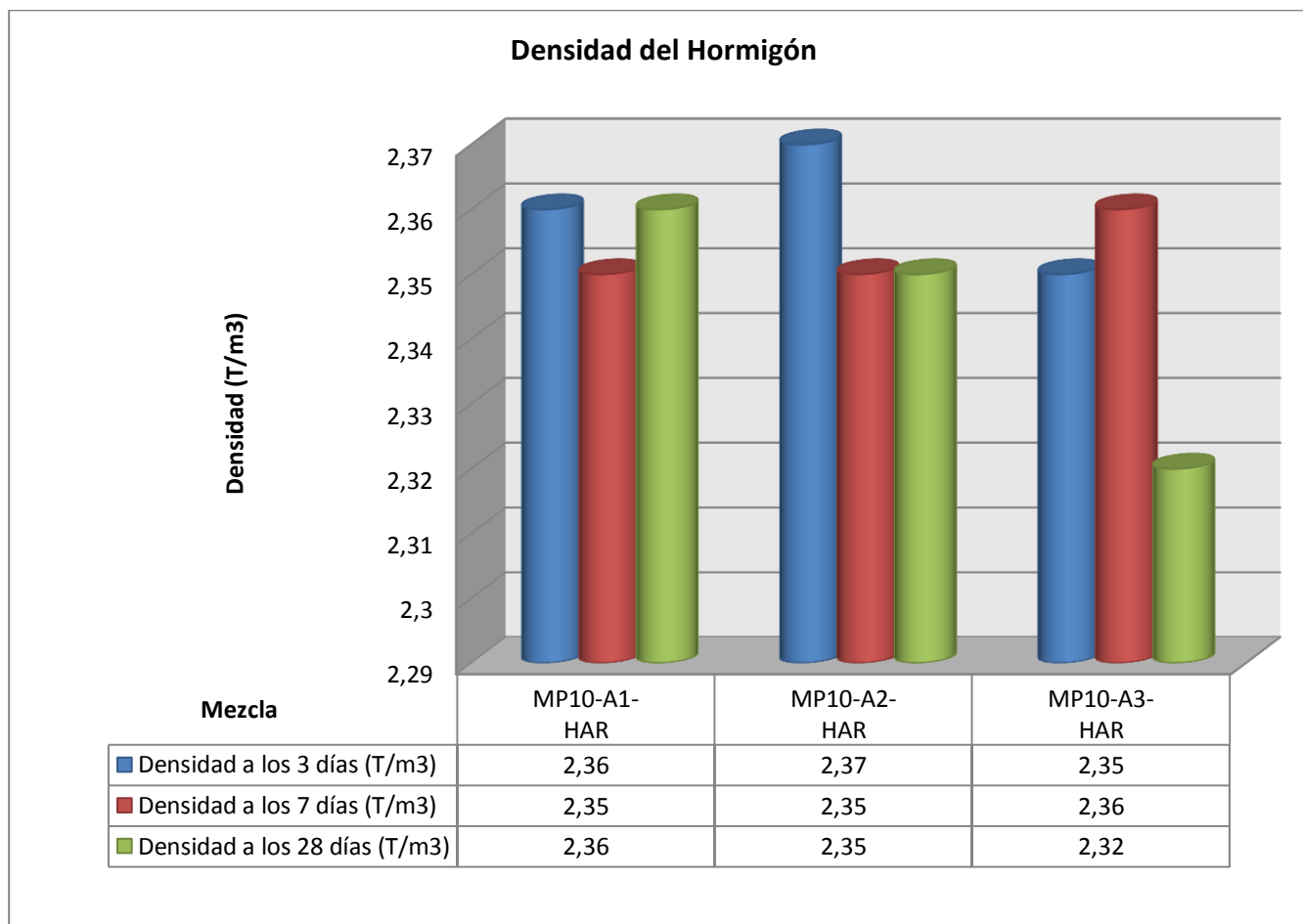
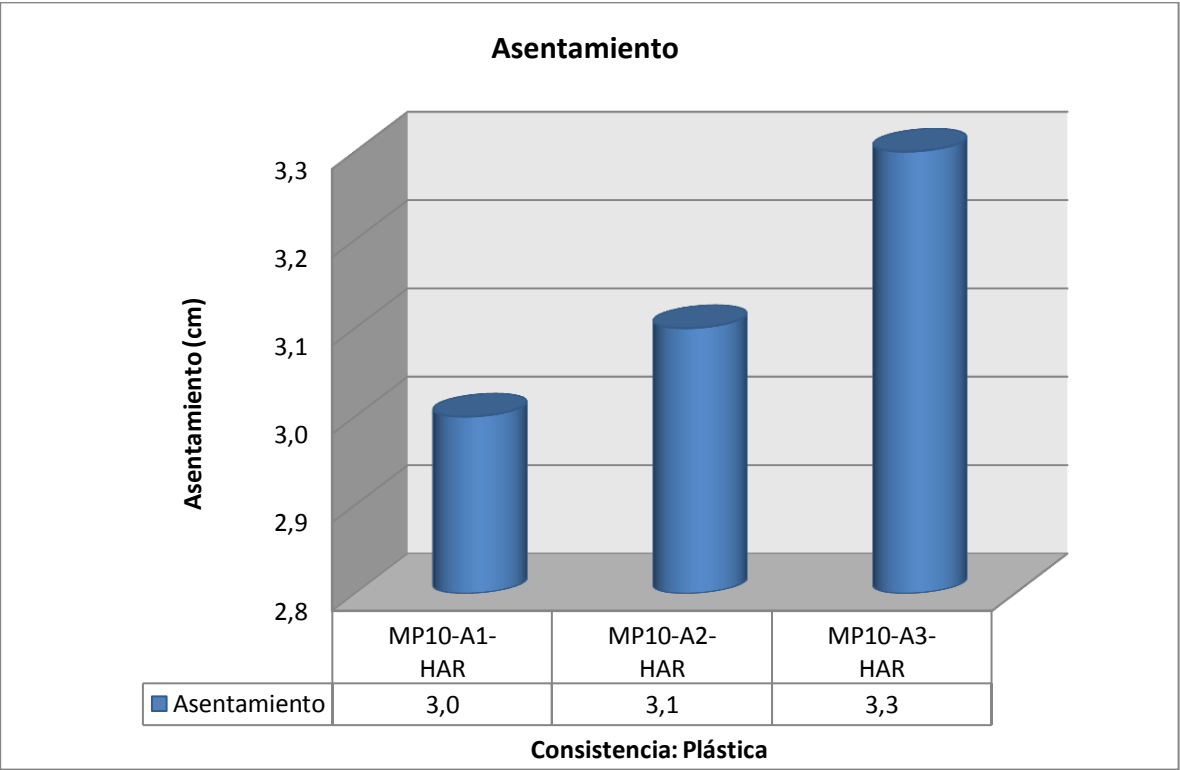


Gráfico 27 Densidad del hormigón en las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 28 Asentamiento del hormigón fresco en las mezclas: MP10-A1, MP10-A2, MP10-A3-HAR



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

MEZCLA DEFINITIVA:

MDEF-HAR=MP10-A1-HAR

Tabla 27 Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla definitiva MDEF-HAR

Edad	Resistencia a la Compresión		Porcentajes	
Días	(kg/cm2)	(MPa)	% con respecto a f'c a los 28 días	% de Crecimiento entre cada edad
0	0	0	0,00%	
				74,31%
3	535,62	52,53	74,31%	
				13,27%
7	631,24	61,90	87,58%	
				12,42%
28	720,78	70,68	100,00%	
				11,59%
56	804,30	78,87	111,59%	

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 29 Curva Tiempo Vs. Resistencia de la mezcla: MDEF-HAR

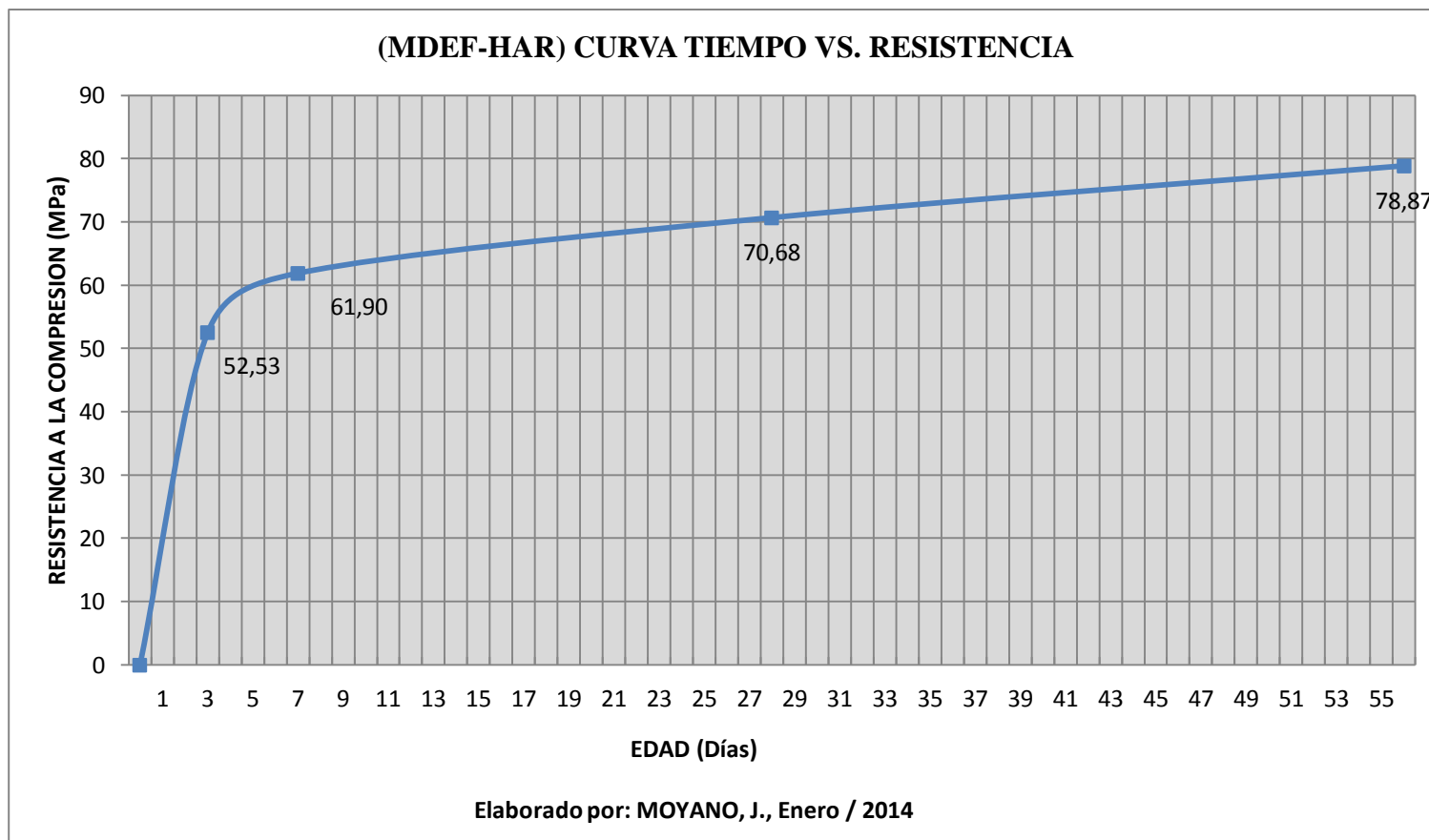
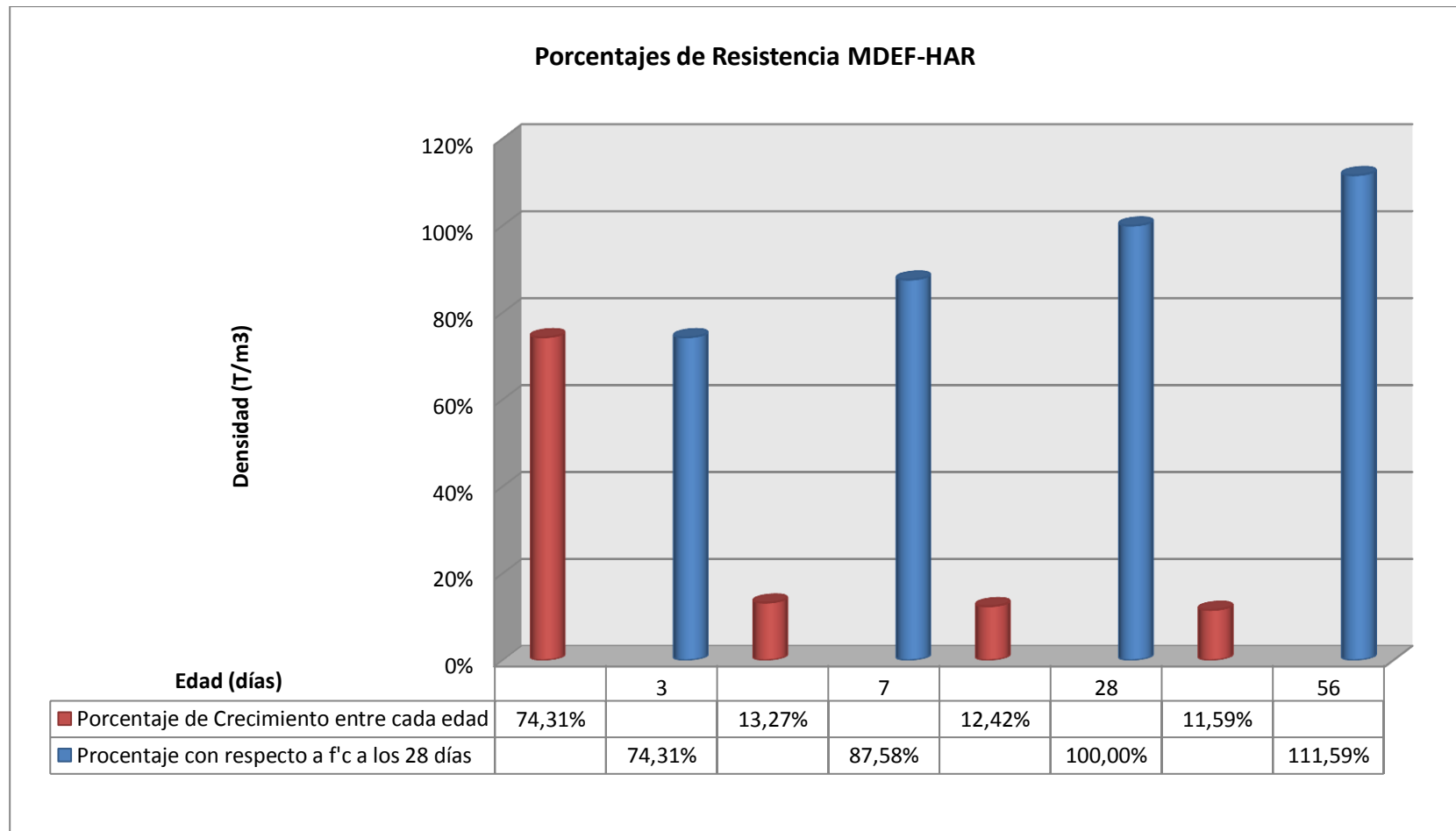
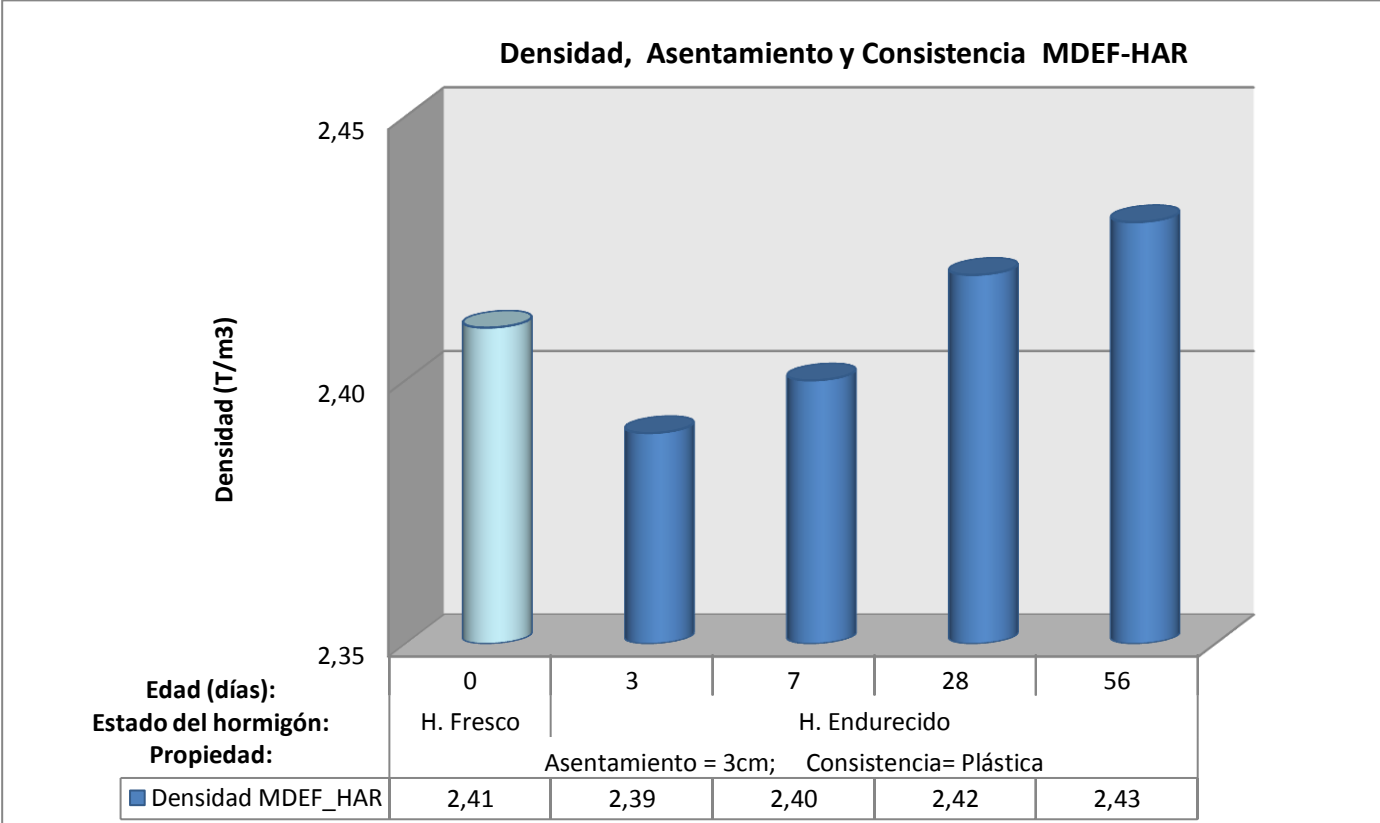


Gráfico 30 Análisis de la resistencia a la compresión y sus porcentajes de crecimiento a cada edad en la mezcla: MDEF-HAR



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 31 Densidad, asentamiento y consistencia de la mezcla: MDEF-HAR



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Tabla 28 Cálculo de cantidades para 1m³ de hormigón de alta resistencia f'cr = 69,90 MPa (f'c=59 Mpa).

Dosificación:	0,26 ;	1,00 ;	0,51 ;	1,13
Volumen hormigón=	1,00	m3		
Densidad del Hormigón =	2,40	T/m3		
Peso de 1m3 de hormigón=	2400	kg		
0,26 x	+ 1,00 x	+ 0,51 x	+ 1,13 x	= 2400 kg
		x =	827,59 kg	

DOSIFICACION PARA 1M3 DE HORMIGÓN :

MATERIAL	PESO	DOSIFICACION AL PESO
AGUA	215,17 kg	0,26
CEMENTO	827,59 kg	1,00
ARENA	422,07 kg	0,51
RIPIO	935,17 kg	1,13

MATERIAL	PESO / VOLUMEN
AGUA	0,22 m3
CEMENTO	827,59 kg
ARENA	0,26 m3
RIPIO	0,71 m3

Aditivo	% del peso del cemento	PESO	DENSIDAD (T/m3)	VOLUMEN (lt)
Glenium 3000 NS	3,00%	24,83 kg	1,07	23,20
Rheomac SF 100	8,00%	66,21 kg	-	-

DOSIFICACION FINAL PARA LA ELABORACION :

Restando el volumen de aditivo del volumen del agua y el peso de microsilice del peso de cemento tenemos:

MATERIAL	PESO / VOLUMEN
AGUA	0,19 m3
CEMENTO	761,38 kg
ARENA	0,26 m3
RIPIO	0,71 m3
MICROSILICE	66,21 kg
ADITIVO SUPERFLUIDIFICANTE	23,20 lt

MATERIAL	PESO kg /m ³ de hormigón
AGUA	190,34 kg
CEMENTO	761,38 kg
ARENA	422,07 kg
RIPIO	935,17 kg
MICROSILICE	66,21 kg
ADITIVO SUPERFLUIDIFICANTE	24,83 kg
1 m ³ DE HORMIGÓN	2400,00 kg

Gráfico 32 Proporciones por m³ de hormigón Mezcla Definitiva $f'_{cr} = 69.9$ MPa ($f'_c = 59$ MPa), mezclado en concreteira

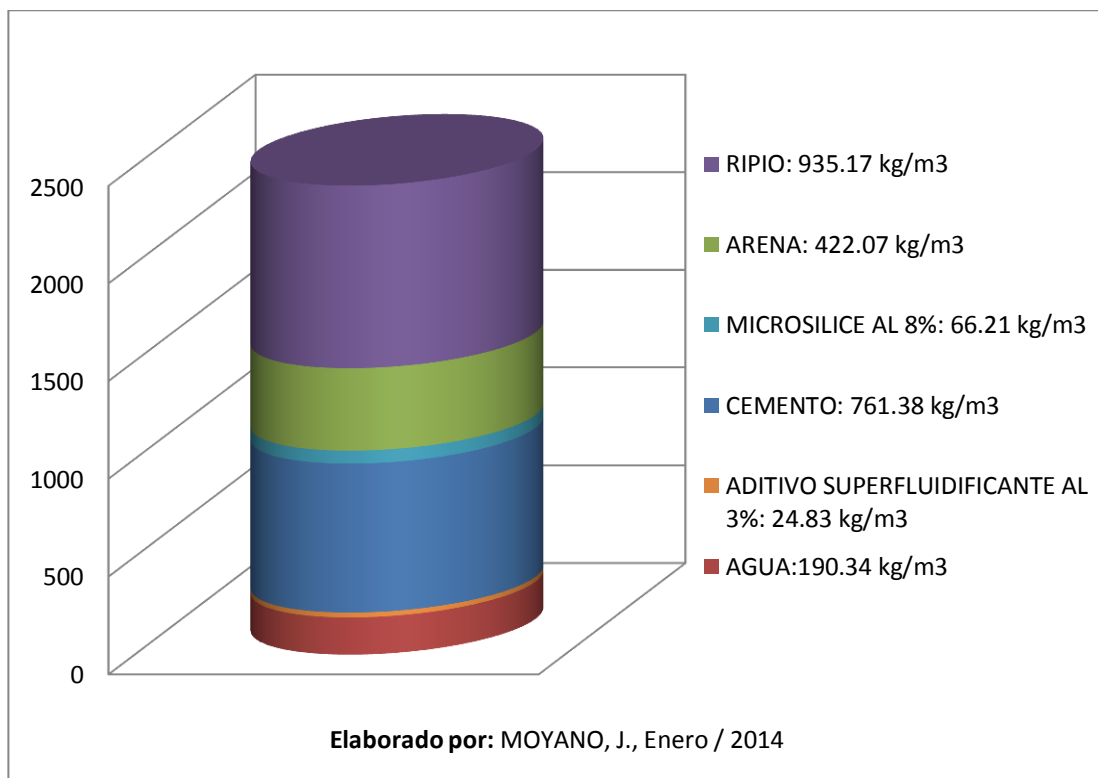


Tabla 29 Análisis de Precios Unitarios

PROYECTO: Tesis de Grado, Hormigón de Alta Resistencia
RUBRO: Hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69,90$ MPa (fc=59 Mpa) **FECHA:** Enero 2014.
ESPECIFICACIÓN: **UNIDAD:** m³

A. Materiales					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Subtotal \$
	Cemento	Kg	761,38	0,15	114,21
	Arena	m ³	0,26	12,00	3,11
	Ripio TNM=3/8"	m ³	0,71	12,00	8,50
	Microsílice al 8%	Kg	66,21	2,00	132,41
	Agua de mezclado	m ³	0,19	0,60	0,12
	Agua de lavado de material pétreo y curado del hormigón	m ³	2,00	0,60	1,20
	Aditivo	lit	23,20	6,89	159,81
SUBTOTAL A					419,36
B. Mano de Obra					
	Descripción	Nº	\$ /Hora	Rendimiento (H / m³)	Subtotal
	Maestro de obra	1	3,38	2,00	6,76
	Peón	3	3,01	2,00	18,06
SUBTOTAL B					24,82
C. Equipo y Máquinaria					
	Descripción	Nº	Costo / Hora	Rendimiento (H / m³)	Subtotal
	Concretera de 1/2 saco	1	2,00	1,50	3,00
	Vibrador	1	1,80	0,85	1,53
	Herramienta menor (5 % MO)	1	1,24	0,85	1,05
SUBTOTAL C					5,58
COSTO DIRECTO (D) => A + B + C = D					449,76

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Tabla 30 Comparación Proporciones definitivas para 1m ³ de hormigón										
MATERIAL	f'c=21 MPa ⁶⁷		f'c=50 MPa ⁶⁸		f'c=53 MPa ⁶⁹		f'c=56 MPa ⁷⁰		f'c=59 MPa	
	f'cr=29,3 MPa		f'cr=60,0 MPa		f'cr=63,3MPa		f'cr=66,6 MPa		f'cr=69,9 MPa	
	Peso/ Volumen	Dosificaci ón al Peso	Peso/ Volumen	Dosificació n al Peso	Peso/ Volumen	Dosificació n al Peso	Peso/ Volumen	Dosificació n al Peso	Peso/ Volumen	Dosificació n al Peso
Agua	0,220 m3	0,58	0,220 m3	0,32	0,22 m3	0,31	0,210 m3	0,28	0,192 m3	0,26
Cemento	378,55 kg	1,00	705,88 kg	1,00	731,71 kg	1,00	794,70 kg	1,00	761,38 kg	1,00
Arena	0,53 m3	2,29	0,32 m3	0,73	0,30 m3	0,66	0,27 m3	0,55	0,26 m3	0,51
Ripio	0,71 m3	2,47	0,72 m3	1,35	0,73 m3	1,31	0,72 m3	1,19	0,71 m3	1,13
Microsilíce Rheomac SF 100	0,00 kg		0,00 kg		0,00 kg		0,00 kg		66,21 kg	8,00%
Aditivo Glenium 3000 NS	0,00 litros		5,94 litros	0,90%	8,21 litros	1,20%	12,63 litros	1,70%	23,20 litros	3,00%
Costo: \$/m ³	103,4		190,97		210,28		249,71		449,76	
Incremento Parcial: \$		87,57		19,31		39,43		200,05		
Incremento Acumulado:\$		87,57		106,88		146,31		346,36		

Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

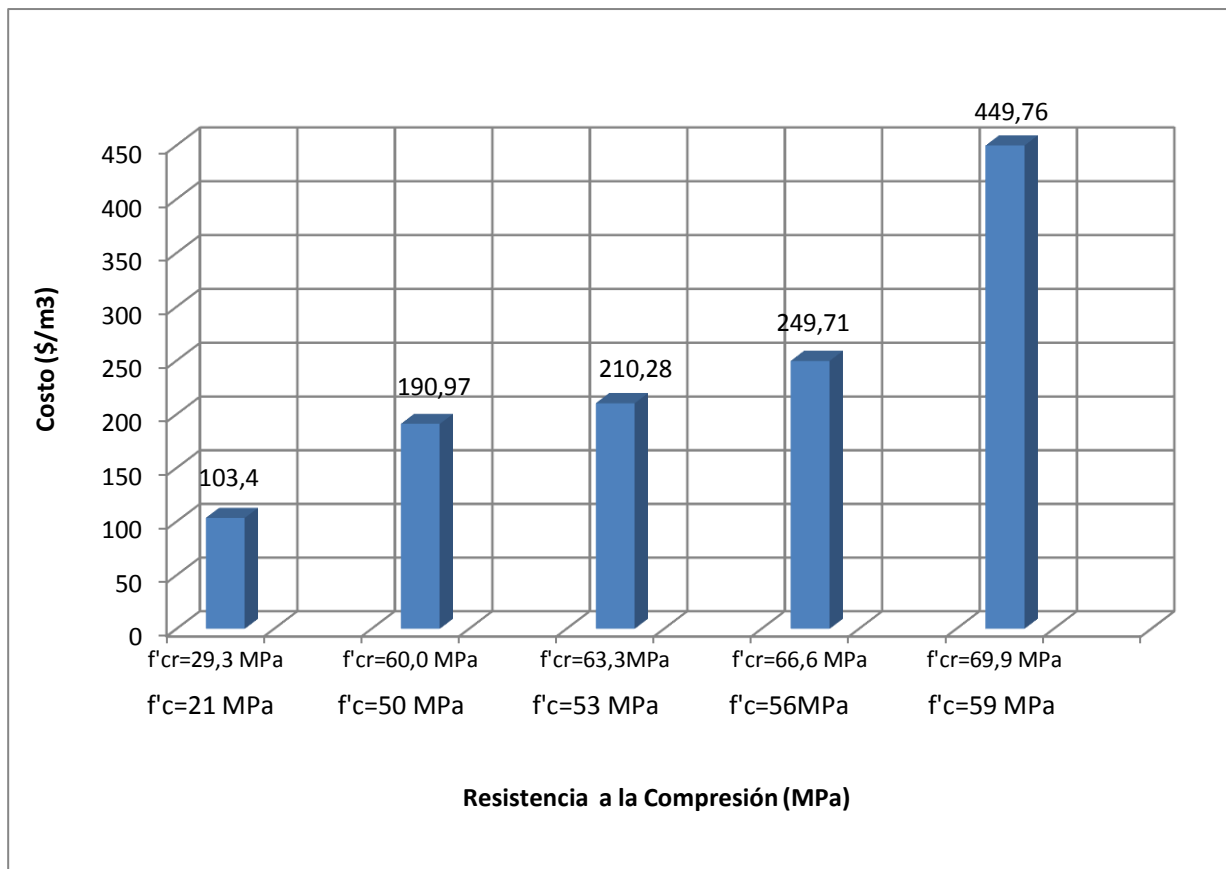
⁶⁷ (CONRADO & ROJAS, 2012)

⁶⁸ (ÁVILA, 2014)

⁶⁹ (BUENAÑO, 2014)

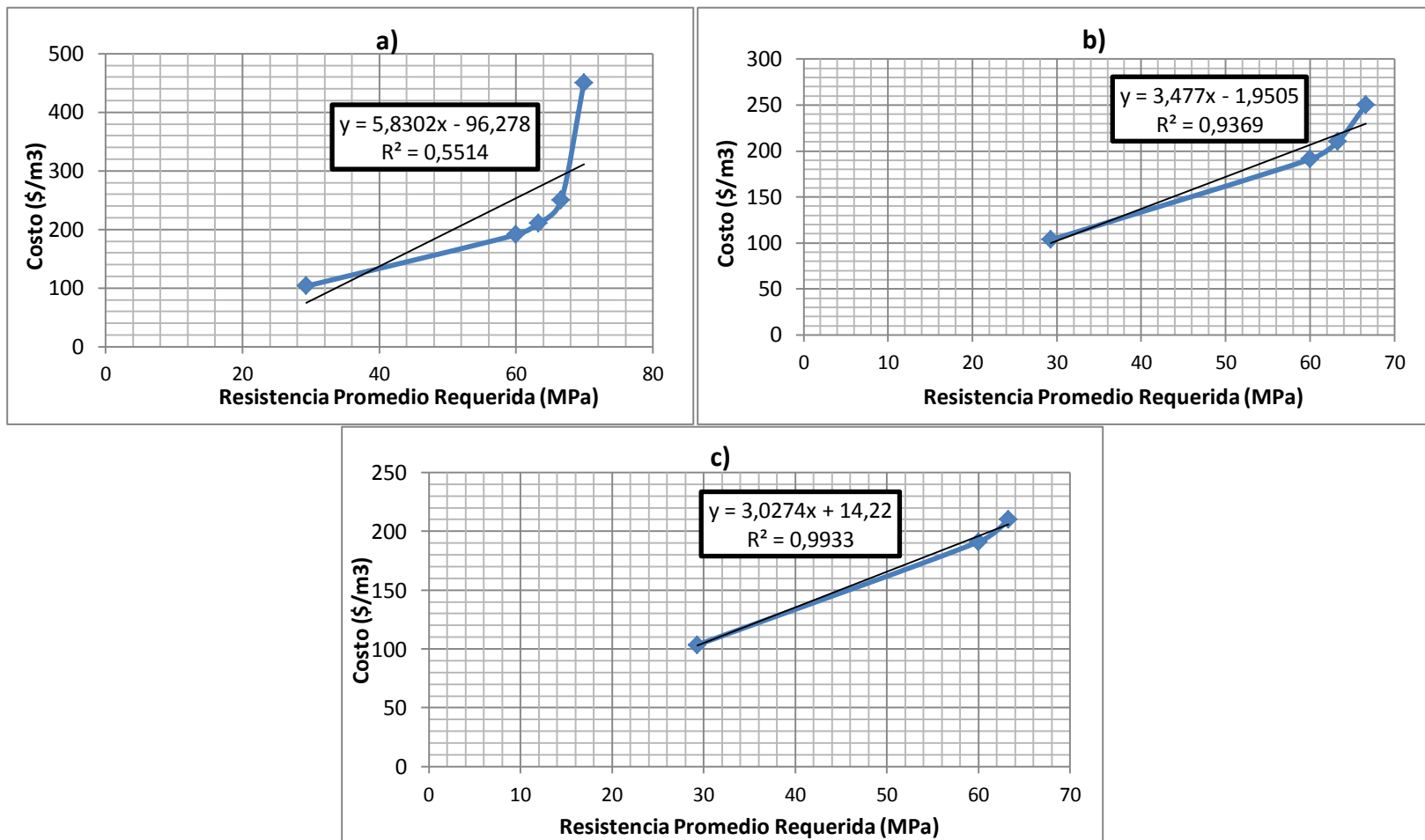
⁷⁰ (CÓNDOR, 2014)

Gráfico 33 Costo vs. Resistencia a la Compresión del hormigón



Elaborado por: MOYANO, J., Enero / 2014

Gráfico 34 Costo vs. Resistencia a la Promedio Requerida a la Compresión del hormigón



Elaborados por: MOYANO, J., Enero / 2014

CAPITULO VIII: ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Con respecto a la resistencia a la compresión:

Según las normas: NTE INEN 1855-1, Hormigones, hormigón premezclado, requisitos, capítulo 8, pag. 17 y NTE INEN 1855-2, Hormigones, hormigón preparado en obra, Requisitos, capítulo 10, pag 16, se establece que:

El nivel de resistencia de un hormigón será considerado satisfactorio, si cumple con los dos requisitos siguientes:

1. El promedio de todos los conjuntos de tres resultados consecutivos de ensayos de resistencia, debe ser igual o superior a la resistencia especificada.
2. Ningún resultado individual del ensayo de resistencia según el numeral 8.2, puede estar 3.5MPa debajo de la resistencia especificada.

Datos:

Resistencia Especificada a la compresión del hormigón: $f'_c = 59.0 \text{ MPa}$

Resistencia Promedio Requerida a la compresión del hormigón: $f'_{cr} = 69.9 \text{ MPa}$

Análisis condición N°1

EL promedio de tres resultados de ensayos de resistencia a la es $70,68 \text{ MPa} > 59 \text{ MPa}$

Análisis condición N°2

Resistencias individuales $\geq 59-3,5 \text{ (MPa)}$

Resistencias individuales $\geq 55,5 \text{ MPa}$

En la **Tabla 27** Resultados de resistencia a la compresión de la mezcla definitiva MDEF-HAR, se puede observar claramente que ningún resultado es menor que 55,5 MPa, por tanto los resultados son válidos.

También en la **Tabla 27** y **Gráfico 30**, podemos observar que la resistencia a la compresión del hormigón de alta resistencia (HAR), se incrementa mucho en el

período de inicial de 0 a 3 días, esto porque el cemento con el que fue elaborada la mezcla es muy fino (finura por medio tamiz N°325= 95%, finura Blaine= 345 m²/kg) y también la adición de microsilíce, cuyas partículas son aproximadamente 100 veces aún más finas que las de cemento, parámetros que contribuyen a una hidratación súper rápida de los compuestos cementantes, adquiriendo el asombroso 74,31% de la resistencia promedio requerida a los 28 días, pero lo más destacable de esto es que a partir de dicha edad los valores de incremento se vuelven similares en los períodos de 3 a 7 días con 13,27% , de 7 a 28 días con 12,42%, y de 28 a 56 días con un 11,59%, es decir, tiene una gran ganancia de resistencia después de los 28 días llegando a 111,59% de la resistencia a la compresión solamente medido a los 56 días, sería interesante ver los resultados de compresión a edades más tardías.

El autor propone porque no medir la resistencia del hormigón de alta resistencia a los 56, 90, o días más tarde, si se evidencia un claro desperdicio de las capacidades del material, que se convierte en un desperdicio económico.

Con respecto al costo por metro cúbico del hormigón de alta resistencia:

Se realizó el análisis de precios unitarios para el rubro hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69.9$ MPa ($f'_c = 59.0$ MPa), obteniéndose un costo a enero del 2014 de 449,76 dólares americanos por metro cúbico de hormigón.

En vista del costo que se presenta, se decidió realizar un análisis económico de la mezcla, es por ello que en la **Tabla 30** se presenta un cuadro comparativo con los resultados de otras investigaciones para las mezclas realizadas con los agregados de la cantera “Río Guayllabamba” para producir una determinada resistencia a la compresión del hormigón, indicando su dosificación, y fundamentalmente su costo, así como su variación con respecto a cada resistencia.

Estos parámetros nos permitieron realizar los diagramas indicados en el **Gráfico 34** Costo vs. Resistencia a la Promedio Requerida a la Compresión del hormigón, que claramente indican hasta que resistencia promedio requerida a la compresión f'_{cr} es económicamente conveniente diseñar hormigones de alta resistencia con los agregados de la cantera mencionada anteriormente.

El **Gráfico 34**, tiene 3 diagramas: a, b, c; el primero considera las mezclas hasta el valor de 69.9 MPa, el segundo hasta el valor de 66.6 MPa, y el tercero hasta 63.3 MPa, presentándose un coeficiente de ajuste R^2 de 0.55, 0.94 y 0.99, respectivamente, lo que indica que el tercer diagrama con una resistencia límite de 63,3 MPa de resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} es un límite económicamente aceptable y recomendable para hormigones de alta resistencia fabricados con los agregados de la cantera “Río Guayllabamba”, con métodos convencionales, puesto que presenta un ajuste de 0.99 que es muy cercano al 1.00, que significa un ajuste perfecto, aunque el 0.94 de la segunda gráfica con una resistencia del 66,6 MPa también es aceptable.

Otra forma de visualizar claramente este límite es en el **Gráfico 33**, que indica que conforme se aumenta 3 MPa en el valor de la resistencia especificada, el costo se incrementa progresivamente y de una forma proporcional, prácticamente hasta el valor de 66,6 MPa.

Beneficios del hormigón de alta resistencia:

Ejemplo:

Para tener una idea más clara de los beneficios que se producen al utilizar un hormigón de alta resistencia, se ha realizado un análisis de las secciones de columnas fabricadas de hormigón convencional y con hormigón de alta resistencia.⁷¹

⁷¹ (Hormigones de Alto Desempeño; INECYC, CAMPOSANO, J., 2011)

Tabla 31 Economía con el uso de Hormigón de Alta Resistencia en columnas

Resistencia a la Compresión (MPa)	25 MPa	75 MPa
Cemento (kg/m ³)	300	450
Volumen de Hormigón (m ³)	300	100
Cantidad de Cemento (T)	90	45
Acero de varillas (T)	30	20
Agregados (T)	540	180
$P_n = 0,85 * f'_c * A_g + f_s * A_s$		

Fuente: (INECYC, CAMPOSANO, J., 2011)

En la tabla anterior se indica la cantidad de cemento por metro cúbico necesaria para preparar un hormigón de 25 MPa y un hormigón de alta resistencia de 75 MPa, así como el volumen de hormigón requerido para las columnas en cada diseño.

En las tres últimas filas del gráfico constan las cantidades, en toneladas métricas, de materiales requeridos para las soluciones con $f'_c = 25$ MPa y con $f'_c = 75$ MPa. Se aprecia claramente que las cantidades de materiales requeridas al usar el hormigón de 75 MPa son notablemente menores que las requeridas al usar hormigón de 25 MPa, generando así una solución más económica.

Se asume que el volumen de hormigón requerido para todas las columnas es de 300 m³ cuando se usa el hormigón de 25 MPa.

Analicemos la reducción del volumen de hormigón:

Condiciones:

La siguiente deducción se realizará considerando un elemento diseñado a carga axial pura, cuya sección sea mayor a la mínima, y que no considere los esfuerzos de esbeltez.

Para determinar la Resistencia Nominal (P_n) de una columna, se aplica la sencilla fórmula:

$$P_n = 0,85 * f'_c * A_g + f_s * A_s$$

Dónde:

P_n = Carga Nominal de una columna

f'_c = Resistencia especificada del hormigón

A_g = Área de hormigón

f_s = Esfuerzo de trabajo del acero de refuerzo igual al esfuerzo de fluencia = f_y

A_s = Área de acero de refuerzo total = A_{st}

Todos los términos vamos a considerar con los subíndices HC para hormigón convencional y HAR para hormigón de alta resistencia.

$$A) P_n_{HC} = 0,85 * (f'c_{HC}) * A_{g_{HC}} + (f_y_{HC} * A_{st_{HC}})$$

$$B) P_n_{HAR} = 0,85 * (f'c_{HAR}) * A_{g_{HAR}} + (f_y_{HAR} * A_{st_{HAR}})$$

Para un mismo valor de P_n : la ecuación A) es igual a la ecuación B)

$$P_n_{HC} = P_n_{HAR}$$

$$0,85 * (f'c_{HC}) * A_{g_{HC}} + (f_y_{HC} * A_{st_{HC}}) = 0,85 * (f'c_{HAR}) * A_{g_{HAR}} + (f_y_{HAR} * A_{st_{HAR}})$$

Asumiendo aproximadamente que se mantiene constante la cuantía de acero:

$$(f_y_{HC} * A_{st_{HC}}) = (f_y_{HAR} * A_{st_{HAR}}) = cte$$

$$0,85 * (f'c_{HC}) * A_{g_{HC}} + cte = 0,85 * (f'c_{HAR}) * A_{g_{HAR}} + cte$$

Eliminamos los valores constantes:

$$(f'c_{HC}) * A_{g_{HC}} = (f'c_{HAR}) * A_{g_{HAR}}$$

Despejando se tiene:

$$A_{g_{HAR}} = \frac{f'c_{HC}}{f'c_{HAR}} * A_{g_{HC}} \quad ; \quad \frac{f'c_{HC}}{f'c_{HAR}} \leq 1,0$$

Esto quiere decir, considerando las aproximaciones de la deducción, que el área que consideramos para una columna el hormigón de alta resistencia diseñada a esfuerzos de compresión, será igual al área del hormigón convencional multiplicada por un factor de reducción (menor o a lo sumo igual a uno), factor que será determinado por la relación de resistencias a la compresión de los dos hormigones.

Ahora retomando el ejemplo anterior, sustituimos las resistencias de la tabla:

$$f'c_{HC} = 25 \text{ MPa} \text{ y } f'c_{HAR} = 75 \text{ MPa}$$

$$A_{g_{HAR}} = \frac{25 \text{ MPa}}{75 \text{ MPa}} * A_{g_{HC}}$$

$$A_{g_{HAR}} = \frac{1}{3} * A_{g_{HC}}$$

Volumen total de hormigón en las columnas consideradas en el ejemplo:

$$V = (A_g * h) * n$$

n y h = Número y altura de las columnas, que es una constante para las columnas diseñadas con hormigón convencional y hormigón de alta resistencia:

Entonces: $V = cte * A_g$

$$v_{HAR (75 MPa)} = \frac{1}{3} * V_{HC (25 MPa)}$$

En estas condiciones el volumen total de hormigón requerido para las columnas con hormigón convencional es de 300 m³, con hormigón de alta resistencia será de 100m³.

En este ejemplo no se consideran, las ventajas adicionales de un menor costo de acarreo de materiales, la reducción de encofrados, ni las importantes ventajas, especialmente por durabilidad, proporcionadas por un hormigón de alta resistencia, lo que permite dilucidar claramente la conveniencia de utilizar un hormigón de alta resistencia versus un hormigón convencional, claro siempre se deberá analizar las condiciones particulares de cada proyecto.

CAPITULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se puede fabricar un hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69.9$ MPa, ($f'_c = 59.0$ MPa), bien dosificado, con los agregados de la mina “Cantera Río Guayllabamba” y con el cemento “Armaduro Especial” de la línea Lafarge.
2. La dosificación en peso para obtener una resistencia promedio requerida $f'_{cr} = 69.9$ MPa ($f'_c = 59.0$ MPa), con los materiales investigados es: 0.26; 1.00; 0.51; 1.13, con la inclusión de la microsilíce Rheomac SF 100 en sustitución del 8% del peso del cemento y aditivo Glenium al 3%, cuyas cantidades por metro cúbico son: 0,19 m³ de agua, 761.38 kg de cemento, 0.26 m³ de arena, 0.71 m³ de ripio, 66,21 kg de microsilíce y 24,83 kg de aditivo superfluidificante.
3. Los agregados gruesos de la mina “Cantera Río Guayllabamba”, no cumplen con los requerimientos para hormigones de alta resistencia puesto que tienen un 28% de desgaste a la abrasión, cuando lo máximo recomendado es un 20%, sin embargo con éstos, si es posible alcanzar, no solamente el f'_c sino que el f'_{cr} .
4. La resistencia del hormigón está determinada en gran parte por la resistencia del agregado grueso, lo cual constituye un limitante que nunca se podrá exceder, por ello es fundamental escoger el mejor material, que no presente meteorización, planos de falla o elevada porosidad, así como exceso de finos o impurezas, partículas inferiores a 0,075mm. Los limos, arcillas son sustancias perjudiciales.
5. La relación agua-material cementante disminuye con áridos machacados procedentes de cantos rodados porque son de mejor calidad. Por el hecho de ser materiales meteorizados, los agregados de la mina “Cantera Río

Guayllabamba”, se tuvo que sacrificar el factor cemento, aumentándolo para llegar a la resistencia requerida ($f'_{cr} = 69.9$ MPa).

6. Para lograr la resistencia requerida $f'_{cr} = 69.9$ MPa fue necesario lavar y seleccionar muy minuciosamente los agregados de la mina “Cantera Río Guayllabamba” eliminando en lo posible: terrones, limos arcillas y cualquier materia orgánica o sustancia perjudicial, y a su vez por medio del tamizado, corregir la distribución granulométrica para el ripio y arena, lo cual sin duda aumentó el costo de producción pero también la resistencia del hormigón.
7. La selección y adición de microsílice en su justo porcentaje, dependerá de las condiciones particulares de los áridos, cemento y aditivos. En nuestro caso se reemplazó parcialmente el cemento con microsílice en un 8%, valor al que se llegó después de muchos ensayos de prueba, lo que nos permitió alcanzar la resistencia promedio requerida $f'_{cr} = 69.9$ MPa, con una desviación estándar del 1,10%.
8. Un hormigón de alta resistencia de $f'_{cr} = 69.9$ MPa ($f'_c = 59.0$ MPa), elaborado con: el cemento “Armaduro Especial” de la línea Lafarge, los agregados de la mina “Cantera Río Guayllabamba”, microsílice Rheomac SF 100 al 8% y aditivo superfluidificante de alto rango Glenium 3000 de la empresa Basf al 3%, en enero del 2014 cuesta 449.76 dólares americanos por metro cúbico.
9. El proceso de mezclado de un hormigón de alta resistencia es primordial, para permitir que se consiga la resistencia, el asentamiento, trabajabilidad y demás condiciones de diseño, por ello se debe colocar los materiales en un orden específico y el equipo de mezclado debe ser el adecuado, en el presente caso, el cambio de mezcladora planetaria a concreteira, generó un aumento del 2% de aditivo en la misma dosificación, para producir condiciones de trabajabilidad similares, lo que encareció la mezcla.

10. Armaduro Especial, es un cemento muy fino (finura del 95%), que alcanza resistencias tempranas muy altas, por lo cual se debe tener cuidado con el proceso de curado del hormigón el cual debe ser celosamente realizado, para evitar las fisuras por contracción, y la pérdida de humedad que evite la ganancia de resistencia. En nuestro caso particular caso, el curado se realizó inmediatamente recubriendo las probetas utilizadas como muestras para los ensayos respectivos con fundas plásticas y dejando en un lugar fresco y protegido hasta del viento, y a partir de las 5 horas apenas se haya concluido el proceso de fraguado, se ingresó los especímenes en la cámara de curado estándar del laboratorio.
11. La resistencia promedio requerida f'_{cr} , garantiza la obtención de la resistencia especificada f'_c en la obra, con seguridad.
12. En el caso de hormigones de alta resistencia es conveniente de acuerdo a las tendencias actuales, considerar en la evaluación de la resistencia no a los 28 días de edad, sino que a los 56, 90, o más días, puesto que es muy alta la ganancia de resistencia en estos intervalos de tiempo, y al final hay que pensar que la estructura sigue ganando resistencia durante todos los años hasta el final de su vida útil y no solo hasta los 28 días que consideran los calculistas, desperdiciando la capacidad de estos hormigones, afectando directamente la economía de las construcciones.

RECOMENDACIONES

1. Se debe visitar la mina de materiales para verificar la calidad de los agregados, y además para observar su tratamiento primario, porque el procesamiento y mejoramiento del material dependerá mucho de estos factores. En la mina “Cantera Río Guayllabamba” el material no debe ser lavado con agua del mismo río, pues esta agua contiene materia orgánica que hace que el agregado se libere de arcilla pero se vuelva a llenar de impurezas.
2. Se recomienda una selección previa del material, estrictamente realizada, para asegurar la calidad de su desempeño en las mezclas, este parámetro es el fundamental para obtener un hormigón de alta resistencia. Para fabricar hormigón de alta resistencia $f'_{cr} = 69.9 \text{ MPa}$ ($f'_c=59\text{MPa}$), se recomienda hacer lavados adicionales y seleccionar los agregados fino y grueso de la mina “Cantera Río Guayllabamba”.
3. Se debe emplear los aditivos químicos y minerales tales como la microsílice, siempre y cuando se realicen las pruebas de compatibilidad de los mismos con los otros materiales fundamentalmente con el cemento, o a su vez se realicen las mezclas de prueba y se evalúe directamente este parámetro como única variable.
4. Se recomienda utilizar el cemento Armaduro Especial junto con la microsílice Rheomac SF 100, para conseguir resistencias muy elevadas a edades tempranas, esto es un 74,31% a los 3 días, lo cual puede ser muy favorable para prefabricados, o grandes obras en donde se necesita que por los plazos cortos, los procesos constructivos se realicen con velocidad.
5. Las puzolanas por si solas no producen efecto cementante alguno, pero combinadas con el cemento (arcilla, cal y yeso), producen compuestos cementantes, que permiten contrarrestar los efectos de la reacción álcali sílice de los agregados, por tanto se recomienda su utilización como adición de

proceso en el cemento, como es el caso en el cemento portland puzolánico Armaduro Especial de Lafarge.

6. Se debe evaluar concienzudamente la utilización del hormigón de alta resistencia en las obras, analizando la relación costo-beneficio con respecto al hormigón convencional, puesto que a pesar de ser más costoso por metro cúbico, es largamente beneficioso, por ejemplo provoca ahorros en las secciones de hormigón así como se reduce la cuantía de acero de los elementos, permite un gran ahorro en encofrados, vencer grandes luces, y arquitecturas extremadamente ambiciosas, aumenta la vida útil de las estructuras por ser más compacto, entre otros, que a la larga puede compensar con creces la inversión inicial en su fabricación.
7. Se recomienda la utilización de agregados bien gradados para dosificar mezclas de hormigón de alta resistencia, de lo contrario corregir su granulometría dentro de los límites especificados por las normas, entre más continua sea la granulometría, mayor será la economía de la mezcla.
8. Para producir hormigón de alta resistencia el agregado grueso debe ser resistente proveniente de machaqueo, con formas cúbicas angulosas que permitan una adecuada trabazón con la matriz cementante, un coeficiente de uniformidad mayor a 0.20, porcentaje de desgaste a la abrasión menor o igual al 20% con un tamaño nominal de, 1/2 a 3/8 pulg. y agregado fino libre de impurezas con un módulo de finura de 2,5 a 3,2 dosificado con las tablas 4.3.5 (a) de la norma ACI 211.4R-93, y con la adición de un aditivo superfluidificante o reductor de agua de alto rango, y microsílce en su justo porcentaje.
9. El asentamiento recomendado para mezclas de hormigón de alta resistencia es de 2 a 4 pulgadas, pero cuando se tiene la presencia de aditivos superfluidificantes, reductores de agua de alto rango puede llegar sin ningún problema a asentamientos superiores a las 8 pulg, que permitirán que el hormigón sea colocado en los encofrados con facilidad, en nuestro caso el

asentamiento fue de 3cm, que debe ser compactado energéticamente y además puede ser mejorado con una sobredosis en la obra de aditivo, que según la norma ACI 211.4R-93 en todos los casos mejora aún más la resistencia.

10. Para hormigones de alta resistencia fabricados con procedimientos convencionales y agregados de la cantera Río Guayllabamba, se recomienda considerar como un límite económicamente favorable, el valor de 63,3 MPa para la resistencia promedio requerida la compresión f'_{cr} , que utiliza para el diseño de las mezclas de laboratorio.
11. Se recomienda seguir con la investigación de hormigones de alta resistencia fabricados con diferentes adiciones, tal es el caso por ejemplo de la arena de cuarzo sustituyendo ciertos tamaños o la totalidad del árido fino, agregados de las diferentes minas, aditivos químicos de toda clase, fibras metálicas, de polipropileno, resinas de poliéster, epoxílicas, nanosílice, etc, que permitan alcanzar resistencias anteriormente impensables (según la bibliografía consultada mayores a 200 MPa).

BIBLIOGRAFÍA

1. (s.f.). Recuperado el 21 de Noviembre de 2013, de Wikipedia, Aditivos para hormigón:
http://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos_para_hormig%C3%B3n#Clasificaci%C3%B3n
2. (s.f.). Recuperado el 23 de Diciembre de 2013, de Aditivos para hormigón y mortero:
<http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%209.htm>
3. (s.f.). Recuperado el 1 de Enero de 2014, de
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/8650/Capitulo4.pdf>
4. (s.f.). Recuperado el 21 de Noviembre de 2013, de <http://boletin-iccy.com/files/files/Aditivos%20Minerales%20finamente%20divididos%20ARTICULO%20JUNIO%202012.pdf>
5. (ACI), A. C., & (IMCYC), A. I. (Adaptación 2005). *Concreto de Alta Resistencia; Proporcionamiento de mezclas ACI 211.4R y Control de Calidad y Ensayes ACI 363.2R*. México.
6. ALLAUCA, L., AMEN, H., & LUNG, J. (s.f.). *Uso de Sílice en hormigones de Alto Desempeño*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2013, de
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso%20de%20s%C3%ADlice%20en%20hormigones%20de%20alto%20desempe%C3%B1o.pdf#page=1&zoom=auto,-16,371>
7. American Concrete Institute (ACI) Committee 211. (1998). *ACI 211.4R-93, Guide for Selecting Proportions for High-Strength with Portland Cement and Fly Ash*.

8. American Concrete Institute (ACI) Committee 211. (1998). *ACI 363.2R-98 Guide to Quality Control and Testing of High-Strength Concrete*.
9. American Concrete Institute (ACI) Committee 214. (2002). *ACI 214R-02, Evaluation of Strength Test Results of Concrete*.
10. American Concrete Institute. (2008). *ACI 318S-08, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario*.
11. ÁVILA, M. (2014). *Hormigón de alta resistencia ($f'c=50$ MPa) utilizando el cemento Armaduro Especial de la línea Lafarge*, tesis. Quito, Ecuador.
12. BUENAÑO, R. (2014). *Hormigón de alta resistencia ($f'c=53$ MPa) utilizando el cemento Armaduro Especial de la línea Lafarge*, tesis. Quito, Ecuador.
13. CAMANIERO, R. (2006). *Dosificación de Mezclas*. Quito, Ecuador.
14. COMITE EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2011). *N.E.C-11, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 4: Estructuras de Hormigón Armado*.
15. CÓNDOR, D. (2014). *Hormigón de alta resistencia ($f'c=56$ MPa) utilizando el cemento Armaduro Especial de la línea Lafarge*, tesis. Quito, Ecuador.
16. CONRADO, M., & ROJAS, J. (2012). *Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Guayllabamba*. Tesis. Quito, Ecuador.
17. HERRERA, Y. (2008). *Hormigón de muy alta densidad*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8326/4/03.pdf>

18. INECYC, CAMPOSANO, J. (2011). *Hormigones de Alto Desempeño*. Recuperado el 18 de Enero de 2014, de http://www.inecyc.org.ec/documentos/notas_tecnicas/ALTO_DESEMPENO.pdf
19. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2652, Determinación de la Finura del Cemento Hidráulico y materia prima mediante los tamices de 300um (No.50), 150um(No.100), 75um (No.200), por el método húmedo* (Primera ed.).
20. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1578: Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación del Asentamiento* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
21. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2002). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1855-2: Hormigones, Hormigón preparado en obra, Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
22. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 156, Determinación de la Densidad*.
23. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 157-2 Rev; cemento hidráulico; determinación de la Consistencia Normal; método Vicat* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
24. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 195-2Rev. Cemento Hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros*. (Primera ed.). Quito, Ecuador.
25. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 196-2 Rev, Cemento Hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de Blaine de permeabilidad al aire*. Quito, Ecuador.

26. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
27. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 197-2 Rev, Cemento portland. Determinación de la finura por el método del turbidímetro*. Quito, Ecuador.
28. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 695 Áridos. Muestreo* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
29. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
30. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490-5 Rev. Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
31. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 696 Áridos, Análisis Granulométrico en los áridos fino y grueso* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
32. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 860, Áridos Determinación de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm, mediante el uso de la máquina de los ángeles* (Primera ed.). Ecuador.
33. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 872. Áridos para Hormigón. Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.

34. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2617 Hormigón de Cemento Hidráulico, Agua para mezcla, Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
35. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 2649, Hormigón de Cemento Hidráulico. Refrentado de Especímenes Cilíndricos para la Determinación de la Resistencia a la Compresión* (Primera ed.). Ecuador.
36. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 957-3 Rev, Cemento Hidráulico, Determinación de la Finura mediante el tamiz de 45um (No.325)*. Quito.
37. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 489-2 Rev, Cemento Hidráulico, Determinación de la Finura por tamizado seco*. Quito.
38. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (s.f.). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1108 Agua Potable, Requisitos* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
39. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (s.f.). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1578: Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación del Asentamiento* (Primera ed.). Quito, Ecuador.
40. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 152-5 Rev, Cemento portland. Requisitos*. Quito, Ecuador.
41. Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, CAMPOSANO, J. (2009). *Nota Técnica: Control de Calidad en el Hormigón, Control por resistencia, Parte I* (Primera ed.).

42. JÍMENEZ MONTOYA, P. (2001). *Hormigón Armado* (14° ed.). Barcelona: Gustavo Gili.
43. LAFARGE. (s.f.). *El Agua es Vida y el Agua es Muerte para el Hormigón*. Recuperado el 1 de Enero de 2014, de <http://www.lafarge.com.ec/EI%20Agua%20Vida%20%20o%20Muerte%20para%20el%20Hormigon.pdf>
44. LAFARGE. (s.f.). *Hormigón de Alto Desempeño (HAD)*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.lafarge.com.ec/Hormigon%20HAD%20de%20alto%20desempeno.pdf>
45. LÓPEZ, S., & VELOZ, Y. (2013). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba, Tesis*. Recuperado el 10 de 12 de 2013, de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CEEQFjAE&url=http%3A%2F%2F repositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F6533%2F1%2FT-ESPE-047105.pdf&ei=jGvVUuyXAablsATS5YHoCg&usg=AFQjCNG-Sesj4HT0zUfuHxB6lvL54FlwRg&bvm=bv.593>
46. OSORIO, J. (1 de Enero de 2014). *Hidratación del Concreto: Agua de Curado y Agua de Mezclado*. Obtenido de <http://360gradosblog.com/index.php/importancia-del-agua-en-el-concreto/>
47. TAS, D. (2011). *Estudio tecnológico de los agregados fino y grueso*. Recuperado el 2013 de Diciembre de 15, de slideshare: <http://www.slideshare.net/dens15tas/estudio-tecnologico-de-los-agregados-fino-y-grueso>

48. YANCHA, A. (2013). *Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ($f'_c = 28$ MPa), fabricado con materiales de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo*. Tesis. Quito, Ecuador.

Anexo 1: Cantera Rio Guayllabamba



Anexo 2: Selección y preparación del material



Anexo 3: Selección y preparación del material



Anexo 4: Ensayos agregados



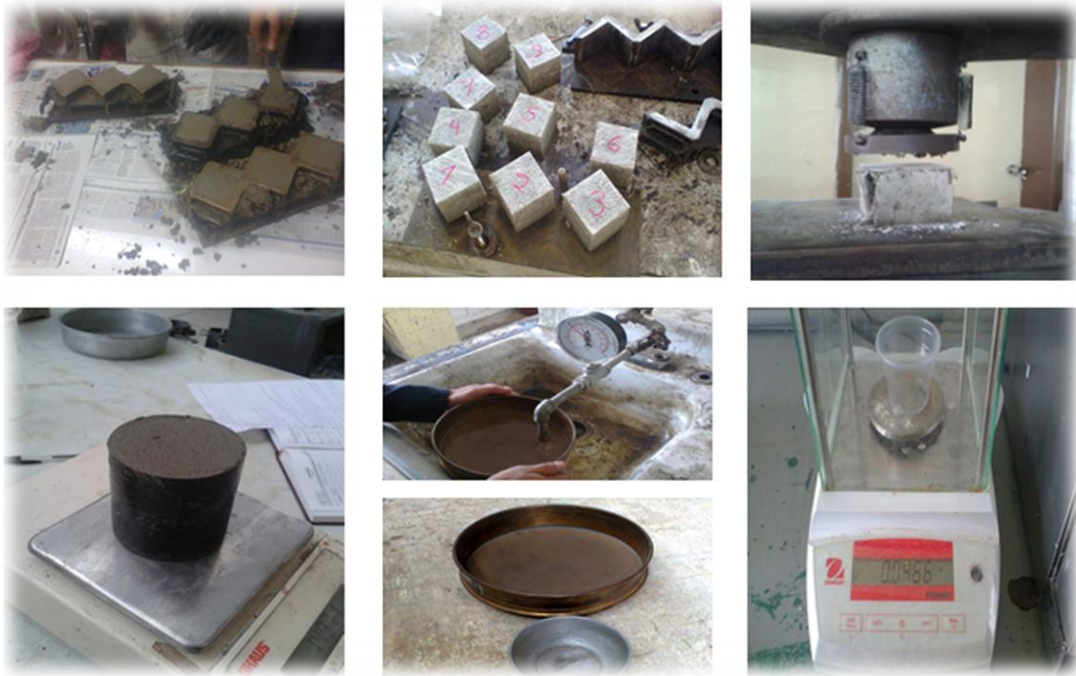
Anexo 5: Ensayos agregados



Anexo 6: Ensayos cemento



Anexo 7: Ensayo cemento



Anexo 8: Proceso de elaboración de la mezcla



Anexo 9: Proceso de elaboración de la mezcla



Anexo 10: Proceso de elaboración de la mezcla



Anexo 11: Ensayo de probetas



Anexo 12 Ficha Técnica del cemento Armaduro elaborado por Lafarge

CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	FICHA TÉCNICA ARMADURO	UN PRODUCTO DE LAFARGE CEMENTOS S.A.
--	---------------------------	---

DENOMINACIÓN

- ARMADURO es un Cemento Portland Pozolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos
- Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595
- La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad
- Posee Licencia Ambiental

APLICACIONES

Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- Para obras viales: Losas, puentes, pantallas, dovelas, tubos, adoquines, etc.
- Aplicaciones estructurales y ornamentales: Postes, adoquines, bloques, bordillos, viguetas, etc.
- Estructuras de hormigón pre-o - postensado

PRECAUCIONES

Almacenamiento

- Adquirir el cemento a distribuidores autorizados
- Evitar contacto directo con el suelo
- Evitar contacto con las paredes perimetrales de la bodega
- En ambientes húmedos asegurar una ventilación adecuada
- No exceder los 60 días de almacenamiento

Para aplicación

- Emplear dosificaciones de hormigón diseñadas en un laboratorio calificado
- Corregir periódicamente las mezclas para mantener constante el ratio a/c (la relación agua/cemento)
- Iniciar el curado lo más pronto posible y evitar desecación

Requisitos Mecánicos

Resistencias NORMA INEN 490 vs. ARMADURO

Norma	3 Días (kg/cm²)	7 Días (kg/cm²)	28 Días (kg/cm²)
Norma NTE INEN 490	130	200	250
ARMADURO	180	230	280

Requisitos Químicos

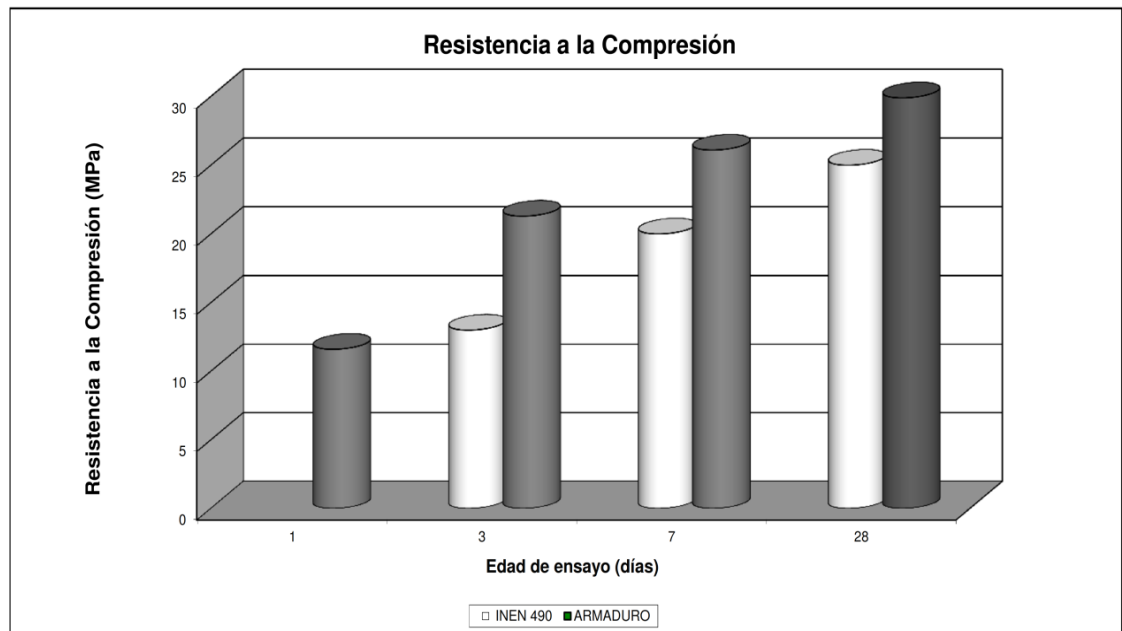
PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Pérdida por calcinación	≤ 5 %	1,4%
Magnesio (MgO)	≤ 6 %	2,3%
Sulfatos (SO3)	≤ 4 %	2,4%

Requisitos Físicos

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Fraguado inicial	≥ 45 % ≤ 420 min	120 min
Expansión	≤ 0,8 %	0,04%
Contenido del aire	≤ 12 %	4,50%

Anexo 13 Certificado de Calidad del cemento Armaduro

Certificado de Calidad									
Producto	ARMADURO				Período Análisis:				
Fecha de emisión	13-ago-13				Día	Mes		Año	
					4	Jul		2013	
Solicitante	SRS. FOPECA								
El cemento ARMADURO cumple con las especificaciones de la NTE INEN 490 (ASTM C-595) para cemento hidráulico compuesto Portland Puzolánico tipo IP									
CARACTERISTICAS QUIMICAS	Unidad	INEN 490		ARMADURO	ENSAYOS FISICOS	Unidad	INEN 490		ARMADURO
Pérdida por calcinación	%	5,0	Máximo	1,0	Finura:				
SiO2	%			27,6	Retenido en malla 325:	%			4,8
Al2O3	%			7,5	Blaine	(cm2/g)			3450
Fe2O3	%			3,6	Consistencia Normal	%			25,8
CaO	%			52,7	Fraguado: Inicial	Minutos	45 - 420	Mínimo	120
MgO	%	6,0	Máximo	2,4	Expansión:	%	0,800	Máximo	0,13
SO3	%	4,0	Máximo	2,3	Contracción:	%	0,200	Máximo	-
Na2O	%			1,63	Peso volumétrico	(g/cm3)			1,000
K2O	%			0,52	Contenido de Aire	%	12	Máximo	5,7
TiO2	%			0,4	Densidad (g/cm3)	(g/cm3)			2,985
					Resistencias: Edad (Días)				
Total	%			99,73	1	MPa		10,7	11,60
					3	MPa	13,0	Mínimo	21,30
					7	MPa	20,0	Mínimo	26,10
					28	MPa	25,0	Mínimo	29,9



Nota: La información de este documento corresponde a un periodo de análisis y no precisamente a un despacho en particular.



 Roberto Esparza G.
 Jefe de Aseguramiento de Calidad

Fuente: LAFARGE, Agosto/2013

Anexo 14: Requisitos Físicos para cementos compuestos NTE INEN 490

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP(MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP(HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	C	C	C	C	C
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^U	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	--	--
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	--	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	--	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	--	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	--	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	--	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		--	--	0,10	--	--

^A Cementos con incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.

^B Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.

^C En todos los informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 µm (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m²/kg.

^D Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.

^E El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.

^F Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.

^G El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^H En los ensayos para un cemento Tipo (HS); el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.

^I Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.

Anexo 15 Requisitos de gradación para áridos gruesos NTE INEN 872

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0, a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Anexo 16 Oferta de materiales y su costo, en la cantera "Río Guayllabamba"

GRUPO O&H Carlos Alberto Ontaneda Hidalgo

CANTERA "DEL RIO GUAYLLABAMBA"
Km. 12 PANAMERICANA NORTE
PASANDO EL PUENTE A MANO DERECHA SECTOR SUR ORIENTAL
PRECIOS MATERIALES VIGENTES DESDE EL 1 de Marzo de 2013

ITEM	MATERIAL	UNIDAD	PRECIO	IVA	V. TOTAL
1	Arena con Chispa	m ³	11.61	1.39	13.00
2	Arena Fina (Banco de Peña)	m ³	4.46	0.54	5.00
3	Arena Lavada	m ³	11.61	1.39	13.00
4	Arena S.S. (Slurry Seal)	m ³	15.00	1.80	16.80
5	Base Clase 1A (pasante 2")	m ³	6.56	0.79	7.35
6	Base Clase 1B (pasante 1 ^{1/2} ")	m ³	7.14	0.66	8.00
7	Base Clase II (pasante 1")	m ³	7.50	0.90	8.40
8	Chispa 3/8" #7 (5-12mm)	m ³	12.50	1.50	14.00
9	Lastre Cribado 4" Peña	m ³	4.46	0.54	5.00
10	Mezcla Asfáltica	m ³	87.50	10.50	98.00
11	Piedra # 67 (3/4" a 1") (18 a 25mm)	m ³	11.61	1.39	13.00
12	Piedra Cimiento (Basilica)	m ³	8.48	1.02	9.50
13	Piedra Empedrado	m ³	8.48	1.02	9.50
14	Piedra Enrocado	m ³	7.00	0.84	7.84
15	Piedra T. #57 de 1" (5-25mm)	m ³	11.61	1.39	13.00
16	Piedra triturada de 1 ^{1/2} "	m ³	10.27	1.23	11.50
17	Piedra triturada de 1 ^{1/4} "	m ³	11.16	1.33	12.50
18	Piedra triturada de 2" a 3" (Balastro)	m ³	9.82	1.18	11.00
19	Sub Base Clase II (pasante 2")	m ³	5.80	0.70	6.50
20	Sub Base Clase III (pasante 3")	m ³	5.00	0.60	5.60

NOTA: Materiales con otras especificaciones diferentes tendrán un valor adicional.
 Precios revisados por CAO-IS el 14 de Febrero de 2013

OFICINA: Carlos Guarderas N47-174 Y Donoso (Sector La Concepción)
 TELFS: (593-2) 2439-456 / 2920-840 Claro: 0997 500 276 e-mail: caonta@gmail.com
 PLANTA: Panamericana Norte Km 12, pasando el puente sobre río Guayllabamba, lado oriental (800 mts.)